



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“ESTANDARIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE
DISPERSIONES DE PIGMENTO PARA TINTA FLEXOGRÁFICA POR MEDIO DE LA
IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES CRÍTICAS”**

MEMORIA DE EXPERIENCIA LABORAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

IRVING VARGAS BEDOLLA

ASESOR ACADÉMICO:

DR. CÉSAR PÉREZ ALONSO

ASESOR EXTERNO:

I.Q. JULIO ANTONIO PINEDA MARTÍNEZ

Septiembre de 2024

RESUMEN

La estandarización de procesos cobra gran importancia en el sector industrial, ya que al adoptar este método se crean patrones sobre actividades y procedimientos cuyo objetivo es garantizar que su ejecución se realice de manera unificada. Con la estandarización, las empresas no sólo maximizan sus resultados, sino que también aumentan su rentabilidad y reducen costos innecesarios.

En esta memoria de trabajo se describe como se efectuó un análisis de las líneas de producción con mayor número de lotes fabricados que presentaron desviación respecto a las especificaciones de calidad en el año 2020.

Mediante una estratificación adecuada se encontró que la línea productiva con mayor número de lotes con defectos de calidad encontrados fue la de dispersiones de pimento para la fabricación de tintas flexográficas UV. Este procedimiento de estratificación se realizó con el uso de las 7 herramientas de calidad propuestas por el profesor japonés de ingeniería Kaoru Ishikawa.

La ejecución del proyecto se realizó para tres dispersiones (Violet PV 23, Cyan PB 15:4 y BLACK PBK 7), las cuales fueron las resultantes de todo el proceso de estratificación del problema. Cada una de las dispersiones fueron estudiadas detalladamente a través del seguimiento del proceso de manufactura de cada una, mediante la recopilación de las condiciones operativas que ya existían previamente en la planta. El análisis previo sobre la investigación de estas condiciones permitió cuestionar si la forma de fabricación de estos productos era la adecuada y por otro lado detectar las posibles causas relacionadas con la variación de los resultados de calidad de cada dispersión.

La atención de cada una de las causas encontradas previamente permitió comprobar las hipótesis que se tenían de cada una de las desviaciones de los productos y definir los controles pertinentes en cada proceso con la finalidad de obtener resultados de calidad sin la necesidad de realizar ningún ajuste adicional o reproceso respecto a los lotes fabricados.

Cabe mencionar que no todas las actividades de los procesos se pudieron estandarizar debido a que es un arte completamente manual y la empresa no cuenta con la infraestructura necesaria para automatizar el proceso completamente.

De igual forma se estandarizaron los resultados obtenidos para cada una de las dispersiones de pigmento estudiadas en este proyecto mediante la actualización de condiciones de operación en la receta de trabajo que se sigue en la planta de producción y mediante la implementación de un documento de liberación de proceso. Estos documentos contienen instrucciones a detalle sobre el control de las variables críticas del proceso que deben de seguirse siempre para cada una de las dispersiones estudiadas para mantener los buenos resultados obtenidos desde el desarrollo de la mejora.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	2
1.1 Siegwark en el mundo	2
1.2 Flexografía.....	3
1.3 Clasificación de las tintas flexográficas.....	7
1.4 Composición de las tintas flexográficas ultravioleta	8
1.5 Reacción de Polimerización.....	9
1.6 Dispersión de pigmento en las tintas flexográficas	11
1.7 Factores que influyen en la dispersión de pigmentos.....	12
1.7.1 Tensión superficial y la humectación	13
1.7.2 Velocidad en la etapa de pre-dispersión	14
1.7.3 Temperatura en la etapa de pre-dispersión	16
1.7.4 Tiempo de la etapa de pre-dispersión.....	17
1.7.5 Molienda de la pre-dispersión	18
1.8 Control de Calidad y aprobación de las dispersiones de pigmento.....	20
1.8.1 Medición de Color y concentración.....	20
1.8.2 Medición de la reología.....	23
1.8.3 Medición de finura	25
CAPÍTULO 2. HERRAMIENTAS DE CALIDAD.....	27
2.1 Definición de las herramientas de calidad	27
2.2 Primer herramienta: Diagrama de Flujo	27
2.3 Segunda herramienta: Diagrama Ishikawa.....	29
2.4 Tercera herramienta: Hojas de verificación.....	30

2.5 Cuarta herramienta: Diagrama de Pareto.....	31
2.6 Quinta herramienta: Histograma	35
2.7 Sexta herramienta: Diagrama de Dispersión.....	36
2.8 Séptima herramienta: Control Estadístico de Proceso (CEP)	38
CAPÍTULO 3. Implementación del Gemba	39
CAPÍTULO 4. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	41
CAPÍTULO 5. EJECUCIÓN DEL PROYECTO	47
5.1 Análisis de FTG durante el año 2020 como punto de referencia para estratificar el proyecto	47
5.2 Estratificación por líneas de producción	50
5.3 Selección de productos de análisis.....	53
5.4 Análisis de la variación en el proceso de manufactura de la dispersión Violet PV23	56
5.4.1 Mapeo de proceso de manufactura de la dispersión Violet PV23.....	56
5.4.2 Descripción de las etapas involucradas en la elaboración de la dispersión Violet PV23.....	57
5.4.3 Documentación de manufactura para la dispersión Violet PV23.....	64
5.4.4 Hallazgos en la producción de un lote de la dispersión Violet PV23	68
5.4.5 Posibles causas del problema y su validación.....	70
5.4.6 Plan de acción de mejoras rápidas para tener mejores resultados en la dispersión Violet PV23.....	72
5.4.7 Resultados después de la implementación de las mejoras.....	73
5.5 Análisis de la variación en el proceso de manufactura de la dispersión Cyan PB 15:4	75
5.5.1 Mapeo del proceso de manufactura de la dispersión CYAN PB 15:4.....	75
5.5.2 Descripción de las etapas involucradas en la elaboración de la dispersión Cyan PB 15:4.....	75

5.5.3 Documentación de manufactura para la dispersión Cyan PB 15:4.....	79
5.5.3 Hallazgos en la producción de un lote de la dispersión Cyan PB 15:4.....	83
5.5.4 Posibles causas del problema y su validación.....	85
5.5.5 Plan de acción de mejoras rápidas para tener mejores resultados en la dispersión Cyan PB 15:4.....	87
5.5.6 Resultados después de la implementación de las mejoras.....	88
5.6 Análisis de la variación en el proceso de manufactura de la dispersión Black PBK 7	89
5.6.1 Mapeo del proceso de manufactura de la dispersión Black PBK 7.....	89
5.6.2 Descripción de las etapas involucradas en la elaboración de la dispersión Black PBK 7	90
5.6.3 Documentación de manufactura para la dispersión Black PBK 7	92
5.6.4 Hallazgos en la producción de un lote de la dispersión Black PBK 7	93
5.6.5 Posibles causas del problema y su validación.....	95
.....	96
5.6.6 Plan de acción de mejoras rápidas para tener mejores resultados en la dispersión Black PBK 7	97
5.6.7 Resultados después de la implementación de las mejoras.....	98
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	98
6.1 Discusión de resultados.....	98
6.2 Conclusiones	104
ANEXOS.....	105
REFERENCIAS	108

INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento tan importante de la empresa Siegwerk S.A. de C.V. en el mercado de tintas para la impresión flexográfica en diferentes empaques que inició a producirse a partir del año 2018 con su incorporación a la planta de la unidad de negocio de Narrow Web, se han desarrollado diferentes tonalidades de colores de dispersiones para tinta que son exportadas a otros centros de excelencia de Siegwerk (convertidores de dispersiones de pigmento en tinta) con la finalidad de unificar la tecnología y la calidad de estos productos a nivel mundial.

Siegwerk México es el centro de excelencia en este caso que se encarga de distribuir dispersiones de pigmento a nivel Latinoamérica y parte de Europa principalmente, exportando alrededor de 400 mil toneladas de bases para tinta al año en promedio. Por consiguiente, es muy importante para el área de desarrollo dar seguimiento a cada etapa del proceso en los escalamientos a nivel producción de las dispersiones con la finalidad de observar y definir las condiciones óptimas de operación para la obtención de las dispersiones con los atributos de calidad correspondientes según se hayan establecido previamente por los clientes y realizar los ajustes necesarios para cumplir con estas especificaciones. Para lograr este objetivo, se realizó un análisis técnico para validar si los procedimientos y controles internos que se tienen dentro de la empresa son los correctos, o de lo contrario, determinar cuáles son los puntos de mejora que se pueden atender para mejorar los tiempos de liberación de los productos, este indicador fue monitoreado respecto al KPI interno (Indicador Clave de Desempeño, por sus siglas en inglés) llamado FTG el cual mide el porcentaje de lotes aprobados sin necesidad de ajustar o reprocesar sobre el número total de lotes producidos en un tiempo determinado. A su vez, se buscó reducir la variación en los resultados de viscosidad y flujo (propiedades reológicas) que se evalúan a las dispersiones de pigmento para la fabricación de tintas finales flexográficas para la unidad de negocio llamada Narrow Web dentro de la compañía Siegwerk, México.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Siegwark en el mundo

Los orígenes de la empresa Siegwark se remontan a la década de 1820. Fue entonces cuando Christian Gottlieb Rolffs en conjunto con su cuñado fundaron el minorista de productos manufacturados, "Rolffs & Poensgen", en Cologne, Alemania.

En 1830 Christian Gottlieb Rolffs cambio el nombre de la compañía a "Rolffs & Comp. Großhandlung von Manufakturwaren" y en 1833 comenzó a teñir y estampar telas de calico.

En 1837 abrió una fábrica de impresión de calico en Cologne, la cual fue ampliada en 1839 por la adquisición de maquinaria para tejidos. En 1844 la fábrica de impresión de calico se traslada a la sede actual de la empresa en Siegburg.

En 1855 la planta de calico introdujo maquinaria moderna de impresión a partir de rodillos con hasta doce unidades de impresión que permiten imprimir bandas textiles en una sola operación.

En 1871 la empresa fue la única compañía en el país de Alemania que se le otorgó una licencia por producir "Ropa de Instrucción", entre otros destinados a familiarizar a los reclutas con sus armas. En 1878 Alfred Keller I, se unió a los consejos de administración.

En 1890 Fritz Rung I y August Nefgen instalaron un laboratorio con instrumentación muy moderna para la época. En 1909 Alfred Keller II se unió a los consejos de organización de la compañía.

En 1911 se fundó el "Laboratorio Químico Siegwark GmbH" por Alfred Keller I, Alfred Keller II y Fritz Rung I. La compañía se especializo en la producción de tintas de grabado y otros productos químicos para la industria gráfica.

En 1914 la planta de calico deja de producir para el mercado textil y desde 1920 se expandió a Europa, el norte de África, Sudamérica y Estados Unidos de Norteamérica.

La planta de Siegwark México empezó actividades en el año 2005 y desde entonces ha ido tomando mayor relevancia en el mercado de tintas. La empresa cuenta con dos unidades de negocio, la primera se le conoce como “Flexible Packaging” (FP), la cual genera el mayor volumen de ventas para la empresa, mientras que la segunda unidad llamada “Narrow Web” (NW) es la que genera menor volumen de ventas. Sin embargo, la unidad de negocio NW es un área muy importante a estudiar ya que el mercado ha ido creciendo en los últimos años y actualmente es una división con mucho potencial que puede generar una mayor utilidad debido a que sus aplicaciones son para clientes que requieran trabajos más específicos como laminado, estampado o troquelado.

Específicamente, los productos que se producen en la unidad de negocio Narrow Web se encuentran los siguientes:

- Dispersiones de pigmento para fabricar tinta final Offset UV (Ultravioleta), Offset Convencional y Flexografía.
- Tintas Offset Convencional.
- Tintas Offset de secado UV.
- Tintas para Flexografía de secado UV.
- Barnices para aplicación sobre impreso OPV (Over Printed Varnish, por sus siglas en inglés).

Para el desarrollo de este trabajo se estudió a más detalle las dispersiones de pigmento que se emplean para la fabricación de flexografía en Siegwark México.

1.2 Flexografía

La Flexografía es ampliamente conocida como una técnica de impresión utilizada con mayor frecuencia por la industria de empaques flexibles, esto debido a su gran versatilidad y configuración, lo cual incluye la posibilidad de realizar trabajos

utilizando un máximo de 8 colores de tintas para distintos usos (procesos y condiciones a las cuales van a ser sometidos los empaques), las cuales también cuentan con componentes que al ser curados mediante una reacción de polimerización y al ser expuestas a una lámpara UV, permiten un curado (secado) rápido para poder generar grandes tirajes de impresión.

El convertidor de la tinta inicia con la separación de los colores de la imagen entregada a partir del diseño de una imagen de marca teniendo como resultado un conjunto de patrones en negativo que se usan para cada color específicamente (etapa de pre prensa).

El proceso de impresión es realizado en máquinas impresoras con sistema rotativo central, este sistema está compuesto por varias unidades de colores individuales, los cuales utilizan planchas de fotopolímero, también conocidas como fotopolímeros, los cuales contienen la imagen grabada en relieve y están hechas con un sustrato de polímero que funciona como receptor de tinta.¹

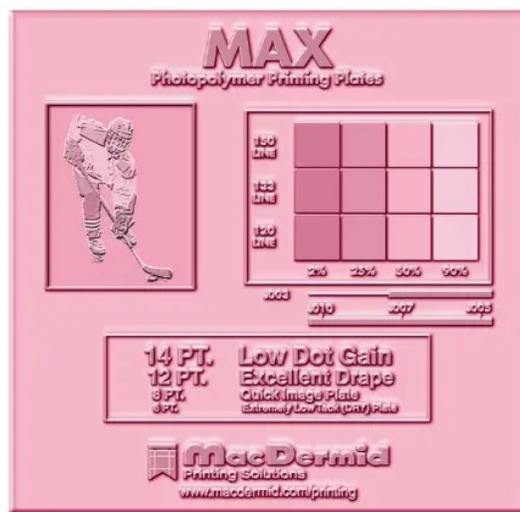


Figura 1.1 Plancha de Fotopolímero EPIC.

Fuente: MacDermid Printing Solutions

Posteriormente la plancha es fijada o ajustada a un cilindro llamado porta forma o porta plancha. Mientras el cilindro porta forma es montado en el sistema de

impresión, a su vez se engancha el papel (sustrato) al sistema, el cual es el medio en el cual se imprime la imagen deseada.²

Posteriormente, un cilindro de acero conocido como anilox es el encargado de proporcionar una cantidad definida de tinta durante el proceso de impresión. En la superficie de los rodillos anilox se encuentran unas hendiduras diminutas (grabado), donde cierta cantidad de tinta es depositada por el rodillo anilox durante el proceso de impresión y suele depender del grabado del rodillo anilox y de su geometría.



Figura 2.2 Configuración de un cilindro ANILOX .

Fuente: ZECHER, 2024

Una vez en marcha, una cámara cerrada que contiene la tinta del color a imprimir, proporciona tinta a un cilindro anilox y por medio de una regleta metálica o navaja extremadamente precisa se elimina el sobrante de tinta del anilox e impide que la tinta escape de la cámara.

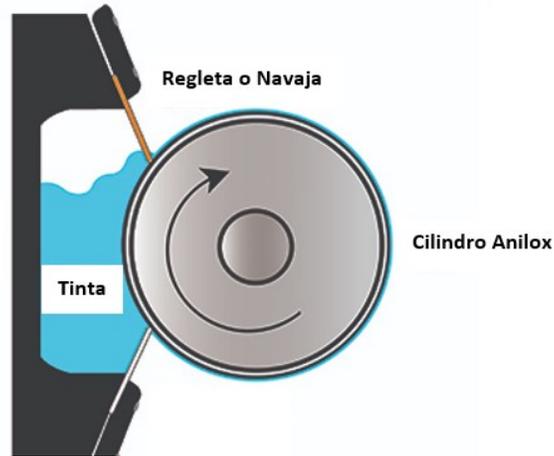


Figura 3.3 Configuración de la Cámara cerrada de anilox .

Fuente: FlexoConcepts Doctor Blade Chamber

Por último, el cilindro anilox al ir girando entra en contacto directo con la plancha que está situada en el cilindro porta plancha y le proporciona tinta solamente en las zonas de relieve de forma continua y uniforme.³

La plancha, ya entintada sigue girando y entra en suave contacto directo con el sustrato. El cilindro de impresión servirá para mantener el sustrato en su posición y evitar que la impresión salga movida o con alguna distorsión en la imagen.

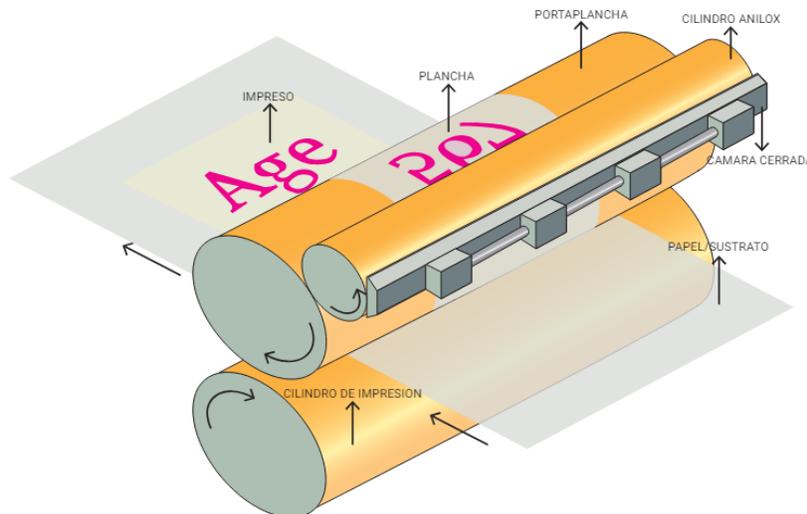


Figura 4.4 Unidad de impresión .

Fuente: Dismapp, 2019

1.3 Clasificación de las tintas flexográficas

Las tintas flexográficas deben poseer la suficiente adhesión sobre el sustrato al que se aplican, independientemente de la naturaleza de éste (plástico, metal, vidrio, etc.). Además, ha de combinar la dureza adecuada con la flexibilidad que se le exige de acuerdo con el uso. Dentro de los tipos de tintas flexográficas se encuentran las siguientes:

- Tintas flexográficas de base agua: Este tipo de tintas están compuestas principalmente de pigmentos, resinas y otro tipo de aditivos, pero el componente dominante de este tipo de tintas es el agua, la cual se evapora durante el proceso de impresión, por ello se denominan también como tintas ecológicas.⁹

Algunas de las desventajas de las tintas a base de agua, es la sensibilidad a la luz solar ya que una exposición directa podría decolorar la impresión. Por otro lado, no es recomendable que la impresión de esta tinta sobre sustrato tenga contacto con la humedad ya que podría diluir los pigmentos ya impresos, por tal razón requieren la aplicación de barnices.

- Tintas flexográficas de base solvente: Al igual que las tintas base agua, estas se componen de pigmentos, resinas y aditivos, aunque con diferentes diluyentes, principalmente alcoholes y acetatos. Mientras más fuerte sea el solvente, la capacidad de adherencia de pigmento al sustrato es mayor. Su formulación la hace resistente a la humedad, ya que los mismos no son solubles en presencia del agua, además son resistentes a la luz solar y exteriores y, no requieren de barnices o laminados.

La desventaja de este tipo de tintas está en que se evaporan en el momento del secado mediante aire caliente y pueden presentar un riesgo para la persona encargada de operar la máquina, por lo que se recomienda tener buenos sistemas de extracción de gases químicos para las empresas impresoras.³⁹

- Tintas flexográficas ultravioleta (UV): La tecnología de tintas flexográficas UV utilizan un proceso mediante el cual las tintas se imprimen sobre un sustrato

y posteriormente, son curados (secados) mediante la exposición a una fuente de emisión de luz UV.

La base que compone este tipo de tintas no se evapora y la película de impresión formada se polimeriza sobre el sustrato dejando una impresión con muy buena calidad. A diferencia de las tintas a base de solventes, este tipo de tintas penetran en el material y su secado es inmediato. La mayor desventaja de esta aplicación o desventaja es que dependiendo del grosor del sustrato puede generar grietas o cuarteamiento en la impresión, si el sustrato no tiene buen grado flexible.³⁹

1.4 Composición de las tintas flexográficas ultravioleta

Las tintas flexográficas UV poseen un secado instantáneo convirtiendo las tintas en una película sólida proporcionando así mayores resistencias físicas y químicas.

Los componentes básicos de las tintas UV para flexografía son:

- a) Resinas: Estos materiales son los principales responsables de gran parte de las propiedades fisicoquímicas como resistencia a los diversos agentes, adhesión al sustrato, compatibilidad con otros aditivos, dureza y flexibilidad. Las resinas más utilizadas para formular tintas UV son los acrilatos y los epóxidos.
- b) Pigmentos: Son colorantes insolubles que proveen el color o identidad visual de la tinta. También contribuyen a las propiedades funcionales como son resistencia a la decoloración, opacidad o transparencia y ser más durables. También son de los materiales más costosos dentro de la fórmula de una tinta. Los pigmentos comúnmente utilizados son:
 - Orgánicos: carbón (negro), diarilida (amarillo), pirazoleno (naranja/rojo), disazo (verde amarillento, rojo, naranja), naftol (verde, azul), quinacridona (rojo).
 - Inorgánicos: dióxido de Titanio (blanco), óxidos de hierro (amarillo, rojo, café), metálico (aluminio) (plata, oro), arcilla (verde, rojo, amarillo, café).

- c) Disolvente de alargamiento normal (diluyente): Tiene como función disolver perfectamente las resinas y mantener la viscosidad de las tintas. Los principales disolventes conocidos para la formulación de tintas UV son los monómeros y los oligómeros.
- d) Aditivos: Estos materiales confieren determinadas propiedades a las tintas tales como resistencia al frote, mayor adherencia al sustrato, alto brillo, etc. Los principales aditivos son: ceras, antioxidantes, plastificantes, antiespumantes, tensoactivos, promotores de adherencia, retardantes (Sirve para retardar la velocidad de secado de la tinta en la prensa), entre otros.
- e) Promotor de curado: Como su nombre lo indica, sirve para acelerar el curado o secado de la tinta. En el caso de las tintas flexográficas que desarrolla la unidad de negocio de Narrow Web se utilizan diferentes tipos de promotores de curado (fotoiniciadores) que promueven la reacción del secado de la tinta en presencia de una fuente de luz UV (Ultravioleta).⁴

1.5 Reacción de Polimerización

Cuando los fotoiniciadores reaccionan a la luz UV se activa la reacción de polimerización, de esta forma la sustancia aglutinante (oligómeros y monómeros) se endurecerán formando una película de tinta sólida y seca. La luz UV es una forma de radiación electromagnética considerada como parte del campo de las radiaciones que forman el espectro electromagnético. Las diferentes longitudes de onda asociadas a esta radiación generan diferentes cantidades de energía, como infrarroja, visible y ultravioleta.⁵

Tal y como se muestra en el diagrama (Figura 1.5), los rayos gamma (γ) y los rayos X transportan mucha más energía que las ondas de radio.

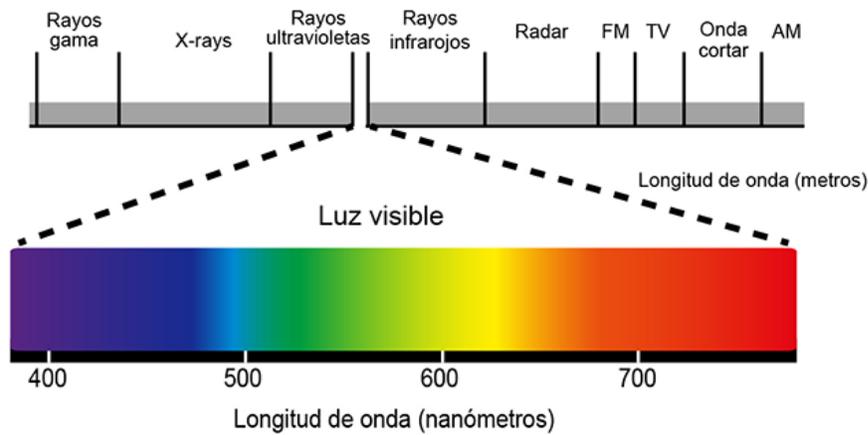


Figura 5.5 Diagrama del espectro electromagnético.

Fuente: AQinstruments, 2023

Donde la energía de activación es la cantidad mínima de energía requerida para que tenga lugar una reacción química.⁵

En el caso de las tintas para flexografía de la polimerización se genera a través de una lámpara UV. En este caso la luz ultravioleta de alta intensidad desencadena una reacción fotoquímica que hace que la transición del estado líquido al sólido sea instantánea.⁶

El curado UV generalmente se completa en segundos. Los mecanismos de reacción suelen implicar polimerizaciones catiónicas o radicales, es decir, la reticulación desencadenada por un iniciador que se descompone bajo la influencia de la luz ultravioleta, lo que provoca una reacción en cadena iónica o radical.

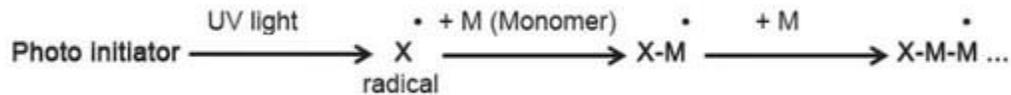


Figura 6.6 Mecanismo de reacción por radical libre en la fase de polimerización

Fuente: Analitek, 2023

La mayoría de los recubrimientos UV emplean polimerización por radicales (ver esquema en la figura 1.6). Los radicales formados durante la descomposición del fotoiniciador reaccionan con los dobles enlaces de los monómeros, generando nuevos radicales que sustentan la polimerización. A medida que avanza el curado, el material se vuelve más viscoso, lo que limita la capacidad de los radicales y los dobles enlaces para difundirse juntos, por lo que la velocidad de reacción disminuye.

Una ventaja de la polimerización catiónica sobre la polimerización por radicales es que las polimerizaciones catiónicas son menos sensibles a la influencia del oxígeno. Finalmente, el resultado de la disolución de las resinas con los disolventes se le llama barniz y actúa como vehículo humectante o dispersante del pigmento.⁷

1.6 Dispersión de pigmento en las tintas flexográficas

Normalmente la fabricación de tinta final flexográfica se fabrica por medio de una sola ruta de proceso en la cual se realiza el proceso de dispersión del pigmento y se añaden al mismo tiempo todos los componentes característicos de cada tinta según sea su aplicación final. Sin embargo, en Siegwark Toluca ha sido necesario sintetizar las fórmulas de tinta final flexográfica, dividiéndose en dos tipos de producto, por un lado, la generación de bases concentradas de pigmento actuando como un producto semielaborado y por otro lado el proceso de fabricación de una tinta final la cual combina diferentes dispersiones de pigmento y la adición de aditivos que se encargan de proporcionarle a la tinta cada una de las propiedades fisicoquímicas según se requiera. La implementación de esta separación de procesos en Siegwark permitió la exportación de las dispersiones a diferentes plantas del mundo dentro de la misma empresa con la finalidad de poder fabricar tintas finales flexográficas partiendo de una misma concentración de pigmento unificando así la materia prima del color mediante las dispersiones. Una vez que las otras plantas reciben las dispersiones de pigmento.

El principio del proceso de fabricación de las dispersiones se basa en que las partículas de los pigmentos o cargas que se encuentran aglomerados pasen a estar

en su mayoría separadas y de una manera estable en el medio o vehículo de dispersión.¹⁰

Para conseguir el objetivo deseado de una forma eficiente se utilizan equipos mecánicos como:

- a) Agitadores de alta velocidad que proporcionan la dispersión suficiente para la fabricación de dispersiones para la producción de tinta flexográfica.
- b) Los molinos de microelementos con los que se consiguen mayores grados de dispersión.

Cuando el proceso de dispersión no se ha realizado correctamente se puede detectar una serie de problemas en el producto terminado al transcurrir cierto tiempo de almacenamiento. Problemas como la separación de fases, la sedimentación, la pérdida de brillo, el incremento de la viscosidad o la presencia del color no uniforme son indicativos de que hubo problemas en la fase de dispersión.¹⁰

En el presente trabajo se abordará con mayor detalle sobre las fases que forman el proceso de dispersión: Humectación, dispersión (separación de las partículas del pigmento) y la estabilización. Una correcta ejecución de estas fases, adaptada a las características del producto, contribuirá a la obtención del objetivo de este trabajo.

1.7 Factores que influyen en la dispersión de pigmentos

La humedad y la compactación a la que están sometidos los pigmentos y las cargas conforman los aglomerados cuya correcta separación en partículas individuales se lleva a cabo durante el proceso de dispersión.

Las propiedades fisicoquímicas del pigmento como el tamaño de partícula original, la estructura y los grupos superficiales también generan una gran influencia en la dispersión.

El proceso de dispersión resulta ser de gran dificultad debido a que a medida que se va desplazando el aire y las partículas sólidas del pigmento se van humectando, interviene la propiedad física conocida como tensión superficial.¹⁰

1.7.1 Tensión superficial y la humectación

Toda composición en estado líquido es sometida a fuerzas de atracción molecular conocidas como tensión superficial. Esta es la responsable de que el volumen del agua adopte la forma esférica.¹⁰

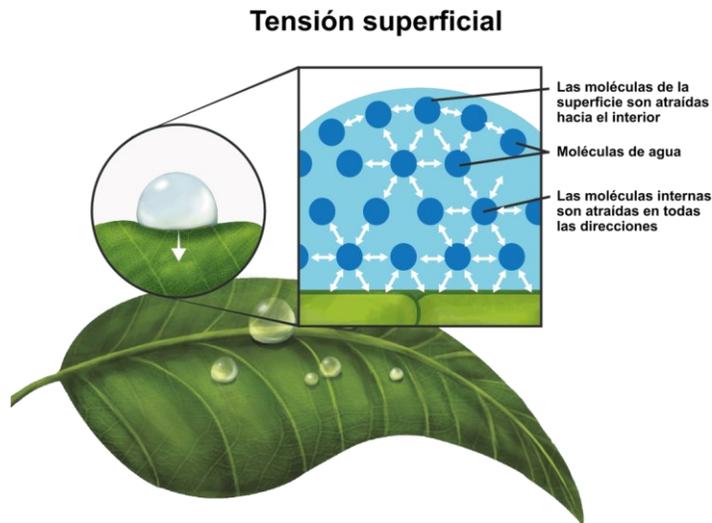


Figura 7.7 Ilustración de la tensión superficial del agua.

Fuente: Moleaer España, 2023

Para que el proceso de humectación se realice de forma correcta necesitaremos que la fuerza de atracción entre las moléculas sólidas y las líquidas sean mayores que las de las moléculas del propio líquido en sí.

Por esta razón, resulta de vital importancia la selección de los aditivos humectantes y sustancia que favorezcan la disminución de la tensión superficial del líquido permitiendo la humectación de cargas y pigmentos con una mayor facilidad. Bajo esta premisa el valor óptimo de la viscosidad depende de dos premisas contradictorias; por un lado, una viscosidad baja favorece el proceso de humectación y, por otro, una viscosidad alta favorece las fuerzas de cizallamiento las cuales son esfuerzos que se aplican a una partícula en sentidos opuestos y por lo tanto tienden a cortar o desgarrar.¹⁰

1.7.2 Velocidad en la etapa de pre-dispersión

La velocidad es una variable muy importante para tomar en cuenta al momento de procesar dispersiones de pigmento ya que en el intervienen demasiadas consideraciones para que se pueda llegar a la unidad individual del pigmento en el vehículo dispersante. Principalmente el tipo de propela que se usa con mayor frecuencia para este tipo de productos son las de disco de dientes, éstas debido a su gran capacidad de cizallamiento de sólidos. Estas propelas son capaces de generar un área de turbulencia que permita cambiar de un régimen laminar a un régimen turbulento a medida que aumenta la temperatura de la dispersión de pigmento con el paso del tiempo. El régimen turbulento es el ideal ya que en este régimen se consiguen grandes fricciones, lo cual ayuda a separar los aglomerados del pigmento durante el mezclado, a este proceso se le conoce como pre-dispersión.¹⁰

Siegwerk de manera global ha generado un estándar operacional sobre la etapa de pre-dispersión de dispersiones de pigmento. Este estándar cuenta con los siguientes puntos:

- 1) Tamaño del contenedor y/o disco de dientes deberán tener una relación respecto a su diámetro de 1/3 respectivamente.
- 2) El disco de dientes debe mantenerse de forma centrada en el contenedor que se vaya a disponer para realizar el proceso de pre-dispersión, con la finalidad de generar un vórtice adecuado de la mezcla que mantenga un equilibrio entre la cantidad de pigmento y el vehículo dispersante.
- 3) La altura correcta del disco de dientes debe mantener una relación 1/3 desde el fondo del contenedor hasta la altura del nivel máximo que logre abarcar la mezcla dentro del recipiente.
- 4) La velocidad deberá de ser de al menos 1200 rpm para generar un buen vórtice de la mezcla e incrementar la temperatura.

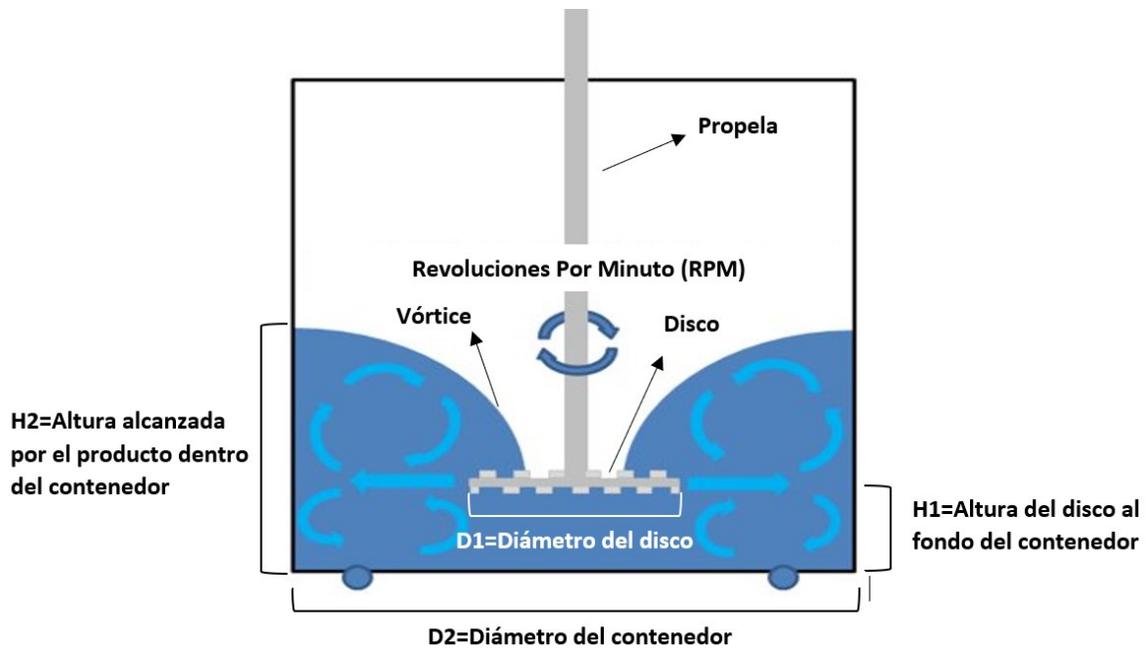


Figura 8.8 Ilustración de la configuración estándar para una buena Pre-dispersión de pigmento con propela de disco de dientes.

Fuente: Siegwerk Morganton, 2024

Sin embargo, existen otro tipo de propelas que se usan para la pre-dispersión de pigmentos, una de ellas se llama propela de mariposa. Este tipo de propelas tienen la peculiaridad de utilizarse para dispersiones o tintas con mayor viscosidad en comparación a las propelas de disco de dientes.

La propela de mariposa ofrece una mejor incorporación del pigmento en el medio dispersante para las dispersiones con una viscosidad mayor que las que se pueden mezclar con una propela de disco. Esto es debido a que por las dimensiones que guardan las propelas de disco con respecto al contenedor resulta ser difícil originar el vórtice deseado generando así una homogenización de la dispersión muy mala. Para poder superar esta desventaja en propelas de disco, las propelas de mariposa cuentan con dimensiones diferentes ya que aprovechan al máximo el diámetro interno del contenedor para así mover todo el material de manera homogénea y evitando que se acumulen grumos del pigmento en las orillas.

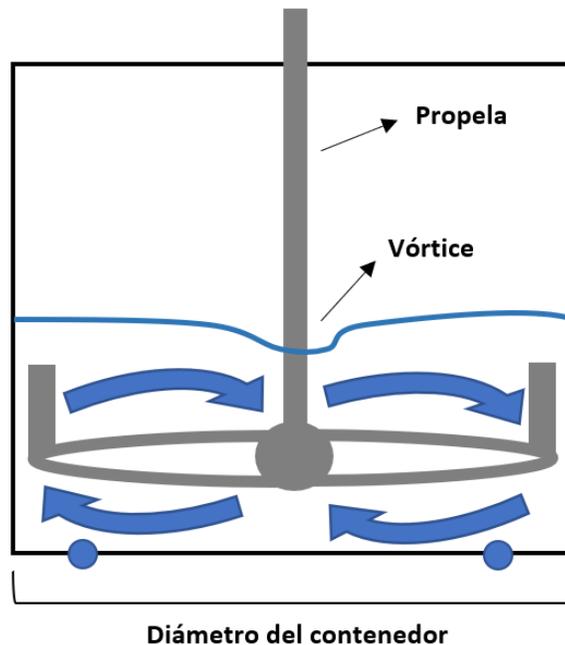


Figura 9.9 Ilustración de la configuración estándar para una buena Pre-dispersión de pigmento.

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Cabe mencionar que las propelas de mariposa no ofrecen gran capacidad para realizar el cizallamiento de sólidos a pesar de no trabajar a alta velocidad en comparación a las propelas de disco, si genera buena incorporación del pigmento al vehículo dispersante.

1.7.3 Temperatura en la etapa de pre-dispersión

Dependiendo de las propiedades fisicoquímicas de todos los componentes de la dispersión de pigmento, será el resultado final del producto ante un incremento de alta temperatura. Demasiado calor o exposición prolongada a alta temperatura, puede degradar las propiedades viscoelásticas del producto (viscosidad y flujo principalmente) provocando efectos de tixotropía en la dispersión. La tixotropía es un fenómeno en las tintas en general que se presenta cuando tienen una alta viscosidad cuando se encuentra en estado estacionario (prácticamente inmóvil) y se vuelve líquido o más fluido cuando se le aplica una fuerza externa.¹²

La temperatura óptima que se debe alcanzar en las dispersiones de pigmento es de 50 a 60°C trabajando de régimen laminar a turbulento.¹⁰

1.7.4 Tiempo de la etapa de pre-dispersión

El tiempo de la etapa de pre-dispersión suele ser variable entre unos 20 o 30 min, una vez que se han añadido todos los elementos sólidos de la fórmula (pigmento). Pasado este tiempo, el perfil de viscosidad tiende a disminuir por efecto de la temperatura, al igual que por las fuerzas de cizalla que se generan por el tipo de propela de disco dentado y la velocidad de mezclado.¹⁰

En la figura 1.10 se puede observar cómo funciona la relación entre la temperatura, la viscosidad y el tiempo:

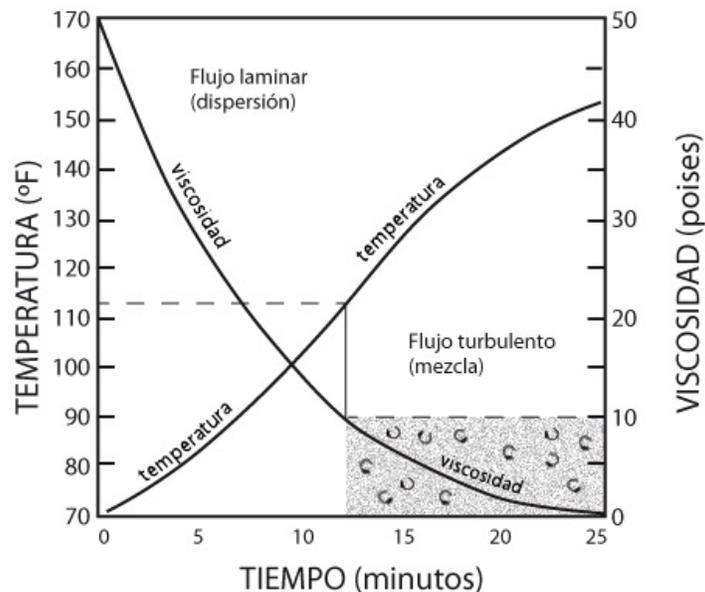


Figura 10.10 Gráfico de equilibrio entre flujo laminar y turbulento en el proceso de pre-dispersión de pigmento con las variables de Temperatura, Viscosidad y Tiempo.

Fuente: Oliver + Batlle, 2020

Del gráfico anterior podemos observar que las variables más determinantes de la viscosidad que se puede obtener al final del proceso de dispersión de pigmentos es el control de la temperatura y el tiempo de pre-dispersión.

1.7.5 Molienda de la pre-dispersión

La última etapa de proceso en la fabricación de dispersiones de pigmento es la de molienda. Un proceso de molienda más eficiente puede dar como resultado un producto más intenso en temas de concentración, mejorando la dispersión del pigmento. Por lo tanto, la forma y la finura de las partículas del pigmento generan una apariencia particular a la superficie ya que se modifica la absorción y refracción de la luz lo que a su vez genera que el ojo humano pueda percibir el color de una mejor manera.¹⁴

Al inicio de este proceso es importante haber realizado la pre-dispersión de pigmento previamente, ya que el producto ya vendrá con cierto trabajo previo a la entrada del equipo que realizará la molienda. El equipo utilizado para esta etapa se llama molino de bolas.

El molino de bolas funciona girando un cilindro con bolas de molienda. Los materiales de las bolas de molienda son de diferentes tamaños y de diferentes materiales dependiendo del producto que considere moler. Siegwerk México ocupa perlas de 0.2-0.4 mm de diámetro de silicato de circonio. Las partículas de circón se combinan en una reacción controlada y un proceso de sinterización, lo que da como resultado esferas de larga duración.¹⁵ Los molinos de bola pueden alcanzar tamaños de partículas iguales o menores de 10 micras.¹³

El contenedor con la mezcla pre-dispersada de pigmento se conecta al molino mediante una manguera que da a una bomba, la cual succiona la pre-dispersión y la dirige a la entrada de la cámara del molino para ser procesada. La cámara del molino de bolas se compone de un cilindro rotatorio (rotor) el cual trabaja bajo una velocidad variable y que se mide en RPM's. El rotor tiene incrustado bastones en diferentes posiciones los cuales se encargan de mover las bolas de silicato por toda la cámara generando el choque entre ellas y sobre la dispersión de pigmento.¹⁶ El movimiento turbulento y caótico resultante de la mecánica produce un alto poder de cizallamiento e impacto, que consigue romper las uniones entre partículas, reduciendo así el tamaño de los aglomerados y llevando a su tamaño inicial las

partículas del pigmento. Con este proceso se consigue una distribución perfecta y homogénea de las partículas en el vehículo dispersante.¹⁷

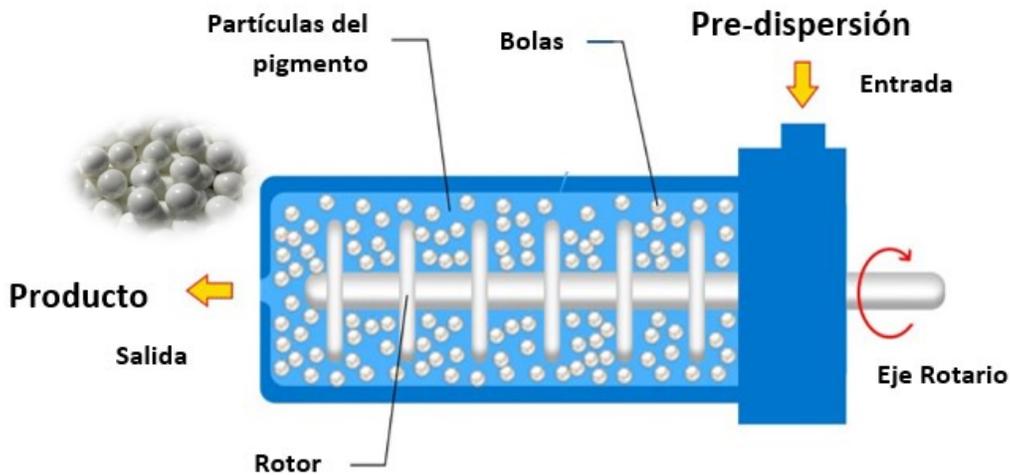


Figura 11.11 Diagrama de una cámara de molino de bolas para dispersión de pigmentos.

Fuente: ELE Dispersers & Bead Mills, 2020

Después del proceso de molienda, es fundamental limpiar minuciosamente el molino para evitar la contaminación cruzada con futuros lotes. Dicho lo anterior, en Siegwerk México se ha implementado un método con la finalidad de mitigar la contaminación cruzada, el cual consiste en dejar fuera de la fórmula inicial de las pre-dispersiones de pigmento un porcentaje del diluyente, este porcentaje debe ser entre 3 a 5 % de la fórmula con la finalidad de no comprometer la humectación del pigmento. Este diluyente es utilizado para lavar el contenedor utilizado previamente en el proceso de pre-dispersión, posteriormente es succionado por medio de la bomba para así purgar las mangueras y la cámara del molino. Finalmente, el diluyente es recibido en el contenedor con la parte molida de la dispersión para completar la fórmula y se mezcla por última vez para homogeneizar la dispersión de pigmento y proceder a su envasado.

Este minucioso proceso asegura la integridad y calidad del producto final, lo que lo convierte en el método preferido en diversos sectores.

1.8 Control de Calidad y aprobación de las dispersiones de pigmento

El control de calidad es un sistema adoptado por las empresas para medir la calidad de los productos y servicios, evaluando si siguen los lineamientos definidos en las especificaciones técnicas establecidas en sus diseños. Esto lo convierte en una herramienta capaz de unificar y validar los procesos de producción y garantizar estándares y requisitos en cada etapa de la manufactura o distribución de los productos.¹⁸

Para la evaluación de calidad de las dispersiones de pigmento se controlan 4 variables importantes de las propiedades del producto.

1.8.1 Medición de Color y concentración

Medir el color significa captar la cantidad de luz que transmite o refleja una muestra de color con la finalidad de poder cuantificarla en datos espectrales.

David MacAdam fue el primero en investigar cuánto debe cambiar un color para que un observador estándar lo perciba. A partir de muestras maestras (color objetivo), cambió el tono, croma (o saturación) MacAdam trazó los resultados en el diagrama de cromaticidad CIE y descubrió que la distribución de los puntos que coincidían formaba una elipse tridimensional, y los elipsoides eran de diferentes tamaños dependiendo de la posición del color en el espacio de color. Esto demostró que el tono y la saturación del color (concentración), conocidos como cromaticidad.¹⁹

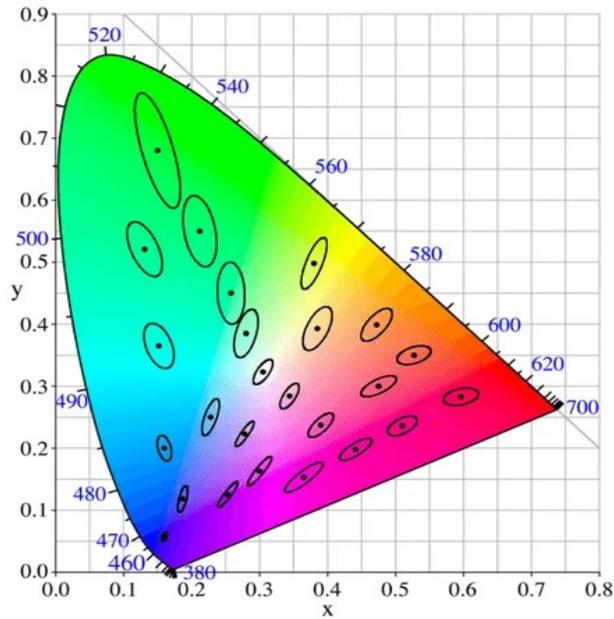


Figura 12.12 Gráfico de tolerancias de color de McAdam.

Fuente: X-Rite, 2021

Con el paso del tiempo, el sistema de medición de color evolucionó y en 1940 Richard Hunter agregó un sistema de coordenadas en el espacio de color descritas por las letras L^* , a^* y b^* .

- L^* = Luminosidad
- a^* = Coordenadas rojo / verde (+a indica rojo, -a indica verde)
- b^* = Coordenadas amarillo / azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Con este modelo de colores, Hunter desarrolló una forma de trazar coordenadas de color exactas en el espacio del color y caracterizar la diferencia de color total utilizando Delta E.¹⁹

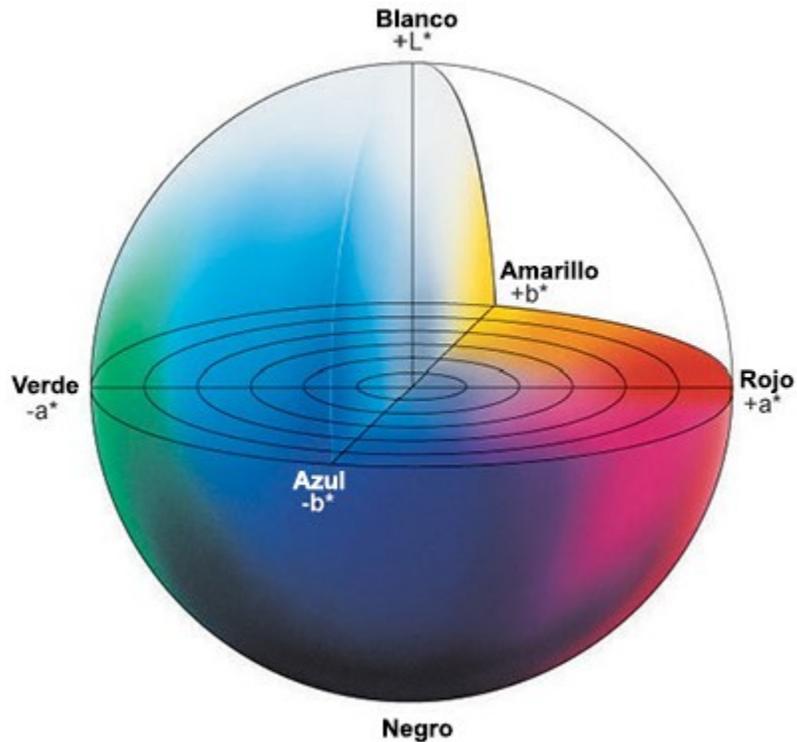


Figura 13.13 Diagrama de coordenadas L^* , a^* y b^* en el espacio de color.

Fuente: Konica Minolta, 2018

La medición del color es muy importante, ya que es más precisa que la evaluación visual debido a que cada persona percibe el color de forma diferente. Para el trabajo crítico del color, es necesario un instrumento de medición del color para identificar, cuantificar, comunicar y diferenciar los colores.

En Siegwerk el instrumento de medición utilizado es el espectrofotómetro, el cual ofrece una medición del color muy precisa además de poder capturar y cuantificar el color en casi cualquier superficie, incluidos los líquidos, los plásticos, el papel, el metal y los textiles, etc. Su función consiste en capturar el color en todo el espectro visible y filtrar la luz en bandas de color muy estrechas. Estas bandas pasan a través de la óptica del instrumento y a un receptor donde se analizan y registran como la curva de reflectancia única del color.¹⁹

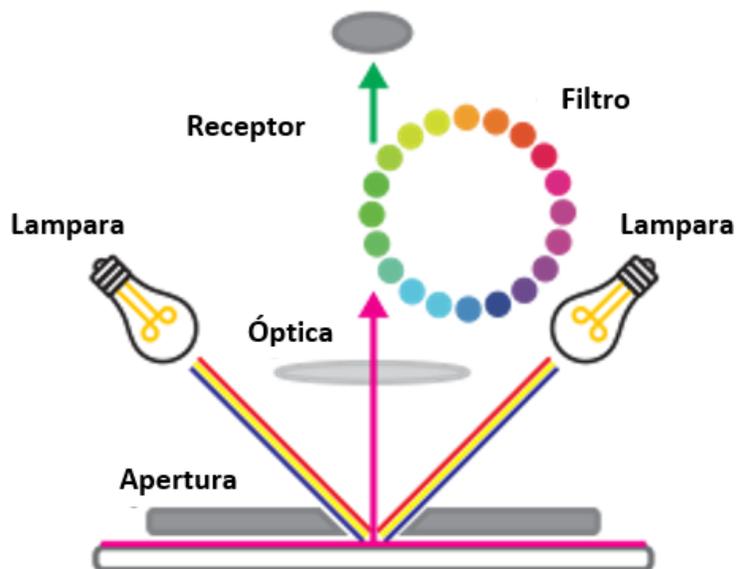


Figura 14.14 Diagrama de la señal que transforma un espectrofotómetro para la lectura de color.

Fuente: X-Rite, 2021

1.8.2 Medición de la reología

Después de la fabricación de una dispersión de pigmento, es muy importante que todos sus componentes se mantengan estables durante su almacenamiento y posteriormente para su uso en la preparación de tintas finales flexográficas UV. Por lo tanto, las mediciones reológicas son fundamentales para la evaluación de su calidad.

La viscosidad de un fluido es una propiedad de transporte de cualquier fluido de resistir las fuerzas que tienden a mover las partículas que lo constituyen unas respecto a otras.²⁰ La unidad de medida de la viscosidad es el Poise, aunque en el Sistema Internacional (S.I.) se mide en Pascal x segundos (Pa·s).

En Siegwerk se emplea un instrumento de medición de reología llamado reómetro. Este instrumento cuenta con una placa metálica que se encuentra acoplada en la base del instrumento la cual cuenta con una gestión térmica activa que se encargará de estabilizar la temperatura a la que se desea realizar las mediciones. Es en la placa metálica donde se deposita la muestra para empezar la medición.

En la parte superior del reómetro se encuentra un brazo neumático que contiene el motor del instrumento, el cual cuenta con un orificio en donde se acoplan diferentes geometrías que servirán para determinar la viscosidad de la muestra.

El sistema de geometrías más versátil para las dispersiones de pigmento y las tintas flexográficas UV son las de cono-plato debido al perfil de baja tensión superficial que se manejan en Siegwerk, solo se requiere un volumen de muestra pequeño, así como un bajo tamaño de partícula (menores que $10\ \mu\text{m}$).²¹

Los cono-plateos también generan condiciones de corte consistentes y son fáciles de limpiar. Otra ventaja es que alcanzan rápidamente el equilibrio de la temperatura.²¹

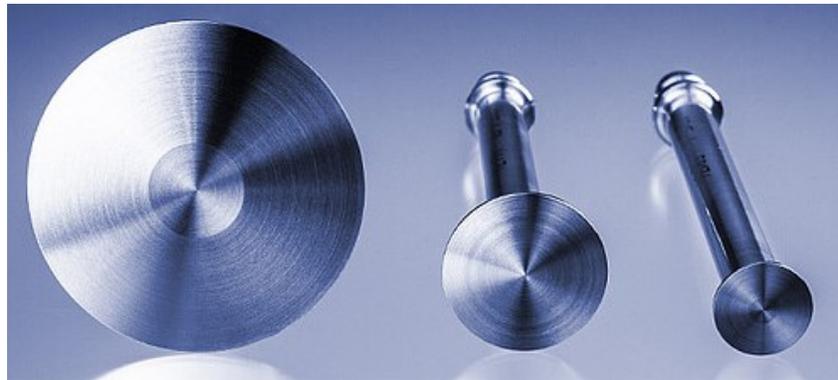


Figura 15.15 Geometrías de cono-plato para reómetro modular compacto.

Fuente: Anton Paar, 2024

Una vez que el cono-plato es acoplado al motor, el brazo neumático baja para poder ajustar la tinta a la cantidad requerida, esta cantidad será definida por la distancia en milímetros entre la superficie de la placa y la superficie del cono-plato, generando así una fuerza normal la cual ayudará a llegar a la configuración deseada.

Una vez que se ajusta la muestra a las condiciones requeridas, es necesario retirar el exceso de muestra que haya salido del área del cono-plato, esta acción evitará que el reómetro tenga errores de lectura por el exceso que se encuentra fuera del contacto directo entre el cono-plato y la placa metálica. Finalmente, después de haber retirado el exceso de tinta el equipo comenzara a realizar la medición de acuerdo con la tasa de torque que se haya configurado previamente para determinar

la viscosidad dinámica de la muestra. Los exclusivos controladores adaptables a la muestra para la medición en rotación y oscilación funcionan para el 99 % de todas las muestras y mediciones sean más precisas y confiables.²²

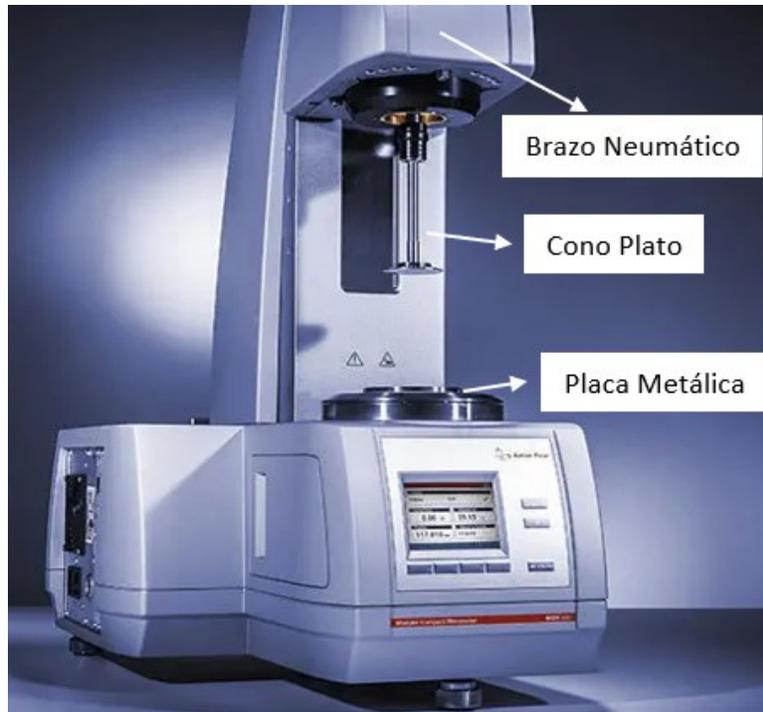


Figura 16.16 Esquema del instrumento de medición de reología Reómetro modular compacto. .

Fuente: Anton Paar, 2024

1.8.3 Medición de finura

Después del proceso de molienda en donde el pigmento es separado hasta su tamaño de partícula mínimo, es muy importante evaluar el grado de equilibrio que guardan las partículas de pigmento entre sí, ya que existen fuerzas de interacción que se forman debido a los agentes dispersantes y estabilizantes de las dispersiones de pigmento que mantienen las partículas del pigmento con un recubrimiento que les permite mantenerse separadas durante un tiempo determinado evitando que el pigmento vuelva a aglomerarse.²³

La medición de finura de molienda de pigmentos es una forma simple pero efectiva de medir la uniformidad de las partículas en el medio dispersante y se realiza

mediante una placa de acero inoxidable templado llamado grindometro, el cual se encuentra graduado con escala en micras y contiene 2 ranuras. La prueba se realiza colocando la dispersión de pigmento en la parte más profunda de la ranura, justo donde la escala en micras tiene el valor más alto. Posteriormente se utiliza una rasqueta elaborada del mismo material que el grindómetro para aplicar una fuerza uniforme que va desde la parte de arriba de la muestra y hasta la parte de abajo. El tamaño de las partículas viene indicado cuando el material se detiene y normalmente se toma de manera visual al encontrar al menos 4 rayas continuas en la altura según corresponda el rendimiento de la dispersión.

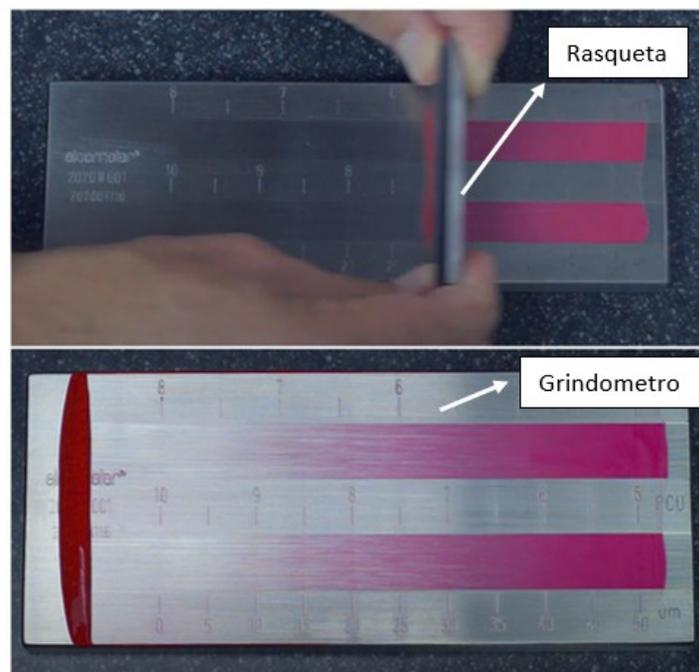


Figura 17.17 Arrastre en grindometro para definir tamaño de partícula de una tinta.

Fuente: Elcometer, 2024

CAPÍTULO 2. HERRAMIENTAS DE CALIDAD

2.1 Definición de las herramientas de calidad

De acuerdo con el Doctor Ishikawa, el control de calidad es necesario para lograr procesos de fabricación eficientes, que garanticen la seguridad y satisfacción de los clientes.²⁴

Las herramientas de calidad son técnicas gráficas que se emplean para recopilar, ordenar e interpretar datos, y analizar las estrategias de un proceso de producción. La experiencia de los especialistas en la aplicación de estos instrumentos o herramientas estadísticas señalan que bien aplicadas y utilizando un método estandarizado de solución de problemas pueden ser capaces de resolver hasta el 95% de los problemas existentes en una empresa.²⁵

Las herramientas y técnicas para el mejoramiento de la calidad sirven para:

- Mejora en la toma de decisiones.
- Identificación de problemas y oportunidades de mejora.
- Enfoque en la solución de problemas clave.
- Reducción de costos y desperdicios.
- Fomento del trabajo en equipo.
- Incremento de la productividad.

2.2 Primer herramienta: Diagrama de Flujo

El diagrama de flujo ayuda en la identificación del mejor camino que el producto o servicio recorrerá en el proceso, es decir, muestra las etapas secuenciales del proceso, utilizando símbolos que representan los diferentes tipos de operaciones.²⁶

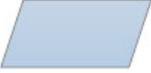
Símbolo	Nombre	Función
	Inicio / Final	Representa el inicio y el final de un proceso
	Línea de Flujo	Indica el orden de la ejecución de las operaciones. La flecha indica la siguiente instrucción.
	Entrada / Salida	Representa la lectura de datos en la entrada y la impresión de datos en la salida
	Proceso	Representa cualquier tipo de operación
	Decisión	Nos permite analizar una situación, con base en los valores verdadero y falso

Figura 2.1 Simbología Básica para un diagrama de flujo.

Fuente: SmartDraw, 2024

Algunas de las ventajas de utilizar diagramas de flujo son:

- Manejar el tiempo de forma eficiente. Se puede ahorrar tiempo en cualquier explicación ya que esta herramienta contiene toda la información importante sintetizada.
- Agilizar la comunicación. Puede facilitar la comunicación de la información dentro de una empresa.
- Sirven como medio de capacitación. Las organizaciones pueden usar estos gráficos ordenados y claros para capacitar al personal de nuevo ingreso o mantener informado al equipo de trabajo sobre los procesos que se implementan.
- Detectar problemas. Gracias a los diagramas de flujo se puede visualizar con mayor facilidad en qué etapa se encuentra un error dentro del procedimiento. Asimismo, permite detectar los aspectos de mejora: cuellos de botella, conflictos o pasos innecesarios.

- Facilitar la gestión de documentos. Se puede documentar textos extensos de manera compacta y plasmar procesos complejos en un solo gráfico.²⁷

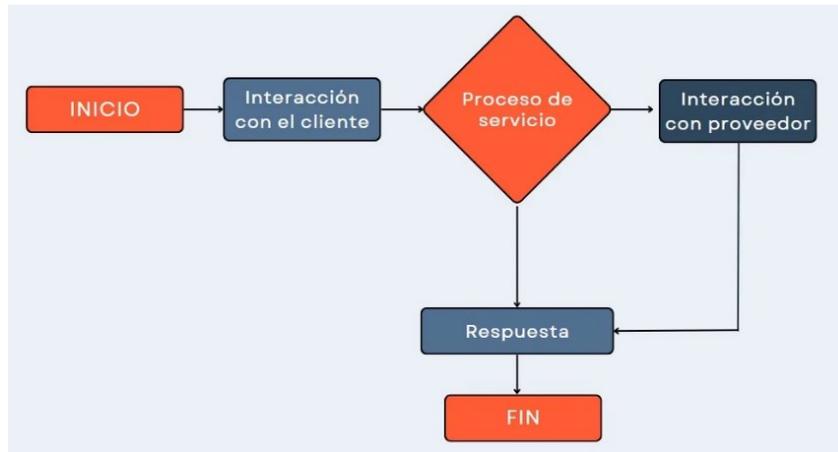


Figura 2.2 Ejemplo de un diagrama de flujo de un servicio.

Fuente: HubSpot, 2024

2.3 Segunda herramienta: Diagrama Ishikawa

El diagrama de causa y efecto (También conocido como diagrama de pescado) acomoda sistemáticamente los resultados de los efectos y los factores que los influyen. Con esta información se pueden analizar las causas y por medio de una lluvia de ideas encontrar las causas que posiblemente influyen en el problema que se está estudiando.²⁴

La técnica de los 5 Porque es una técnica sistemática complementaria al diagrama de Ishikawa ya que es utilizada durante la fase de análisis de problemas para buscar las posibles causas principales.

Esta técnica requiere que se pregunte “por qué” al menos cinco veces sobre la problemática que se está abordando. Una vez que sea difícil responder al “por qué”, la causa más probable habrá sido identificada.²⁸

El diagrama se compone de la siguiente forma:

- Cabeza: aquí se representan los problemas o fallas de la organización.
- Espinas: se desprenden de la columna y puede haber tantas como sean necesarias, conforme a las posibles causas que generen los problemas. En esta parte del diagrama se pueden considerar las 6 M del diagrama, las cuales son método, maquinaria, mano de obra, materiales, medición y medio ambiente, en el que cada una se refiere a un aspecto clave de donde puede provenir el problema que afecta a la compañía, sin embargo, no para todos los problemas es aplicable y dependerá del análisis de los participantes en la elaboración del diagrama.
- Espinas menores: las sub-espinas o espinas menores constan de las causas menores o efectos pequeños que se generan por los problemas o el problema central.²⁹

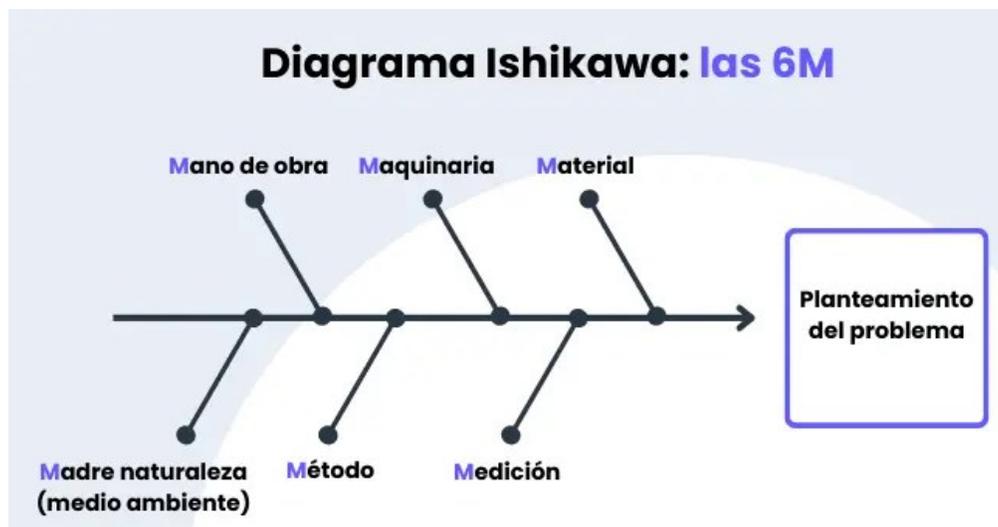


Figura 2.3 Ejemplo de un diagrama de Ishikawa.

Fuente: Safety Culture, 2024

2.4 Tercera herramienta: Hojas de verificación

Las hojas de verificación son formatos generalmente impresos que se utilizan para recolectar datos por medio de la observación de una situación o proceso específico. Se utilizan para la certificación de que los pasos o elementos preestablecidos se han cumplido o para evaluar en qué nivel están.³⁰

La función de una lista de chequeo varía de acuerdo con el tipo de hoja. Esto es lo que dice Kaoru Ishikawa:

- Para cuantificar los defectos por producto
- Para cuantificar defectos por localización
- Para cuantificar defectos por causa (maquina o trabajador)
- Para realizar un seguimiento a las actividades de un proceso (lista de verificación)

Diligenciado por	Total por tipo de reparación			
Fecha			○	
Lugar			⊕	
Proceso			⊗	
Hoja #			△	
Técnico / Semana	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Total de reparaciones
Técnico 1				
Técnico 2				
Técnico 3				
Total reparaciones				

Figura 2.4 Lista de chequeo de reparaciones de mantenimiento.

Fuente: Ingenio Empresa, 2022

2.5 Cuarta herramienta: Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta de gestión de la calidad muy útil y versátil que ofrece una amplia gama de beneficios, no solo para la identificación de problemas, si no también brindando oportunidades valiosas para la mejora continua y la optimización de recursos.³¹

El diagrama de Pareto consiste en un gráfico de barras que clasifica de izquierda a derecha en orden descendente las causas o factores detectados en torno a un fenómeno. De ahora en adelante hablaremos de problemas como causas y de fenómeno como situación problemática.

Esto nos permite concentrar nuestros esfuerzos en aquellos problemas que representan ese 80%. El principio de Pareto, también conocido como la regla 80/20, consiste en que el 80% de los efectos proviene del 20% de las causas.³²

No existen pasos específicos para realizar el diagrama, es por eso que depende mucho del tipo de problema que se quiera analizar, es decir, la metodología siempre va a ser la misma, aunque el lenguaje en que se explica sea diferente. De manera general los pasos que se deben considerar para realizar el Pareto son los siguientes:

1. Definir la situación de la problemática: Determina los problemas (causas o categorías) en torno a la situación problemática. Para encontrar el problema con mayor facilidad es importante entender que una problemática es cualquier desviación de un resultado respecto a los datos que se tienen como límites o de referencia.
2. Recolectar datos: Después de haber definido el problema y plantear las posibles causas que lo generan, se pueden empezar a recolectar datos para poder cuantificar el impacto de cada causa al problema.
Es importante contar con unidades iguales ya que para que el diagrama de Pareto refleje un buen resultado depende de que hablemos del mismo tema o problema en todo momento.
También se debe tomar en cuenta que el periodo de tiempo es el mismo debe ser el mismo para todas las causas.
3. Ordenar las causas de mayor a menor: En el gráfico se debe ordenar las causas de mayor a menor con base en los datos que se hayan recolectado.
4. Realizar los cálculos: A partir de los datos ordenados, se calculan 3 datos importantes para construir el gráfico. El primero de ellos es el acumulado de los eventos de cada causa (frecuencia acumulada), dicho de otra forma, esto corresponde a la suma total de número de eventos de todas las causas.

Quejas	No. De Incidencias
Queja 1	8
Queja 2	5
Queja 3	4
Queja 4	2
Queja 5	1
Frecuencia Acumulada	=SUMA(C4:C8)

Figura 2.5 Calculo de la frecuencia acumulada de una tabla de datos de quejas.

Fuente: Propia, 2023

Posteriormente se calcula el porcentaje que representa cada una de las categorías respecto al valor acumulado de todos los datos. Esto se calcula multiplicando cada valor de cada frecuencia por 100 y dividido entre la frecuencia acumulada. La suma total de los porcentajes siempre debe ser igual a 100 %.

Quejas	No. De Incidencias	%
Queja 1	8	=C4*100/C9
Queja 2	5	25
Queja 3	4	20
Queja 4	2	10
Queja 5	1	5
Frecuencia Acumulada	20	

Figura 2.6 Calculo de porcentajes de una tabla de datos de quejas.

Fuente: Propia, 2023

Por último, se calcula el porcentaje acumulado el cual es la suma del porcentaje de las causas, sin embargo, se organiza de diferente manera a la frecuencia acumulada para ver el impacto acumulado de cada porcentaje hasta alcanzar el 100%, este indicador es el que servirá posteriormente para definir las causas que se deben atender con mayor prioridad.

Quejas	No. De Incidencias	%	% Acumulado
Queja 1	8	40	40
Queja 2	5	25	=E4+D5
Queja 3	4	20	85
Queja 4	2	10	95
Queja 5	1	5	100
Frecuencia Acumulada	20		

Figura 2.7 Calculo de porcentajes acumulados de una tabla de datos de quejas.

Fuente: Propia, 2023

5. Graficar las causas: El eje X lo destinamos a colocar las causas. Por otro lado, se usa el eje Y izquierdo para la frecuencia acumulada.
6. Graficar la curva acumulada: El eje Y derecho es para el porcentaje acumulado, por lo tanto, va desde 0 hasta 100%. Se usa para dibujar la curva acumulada.

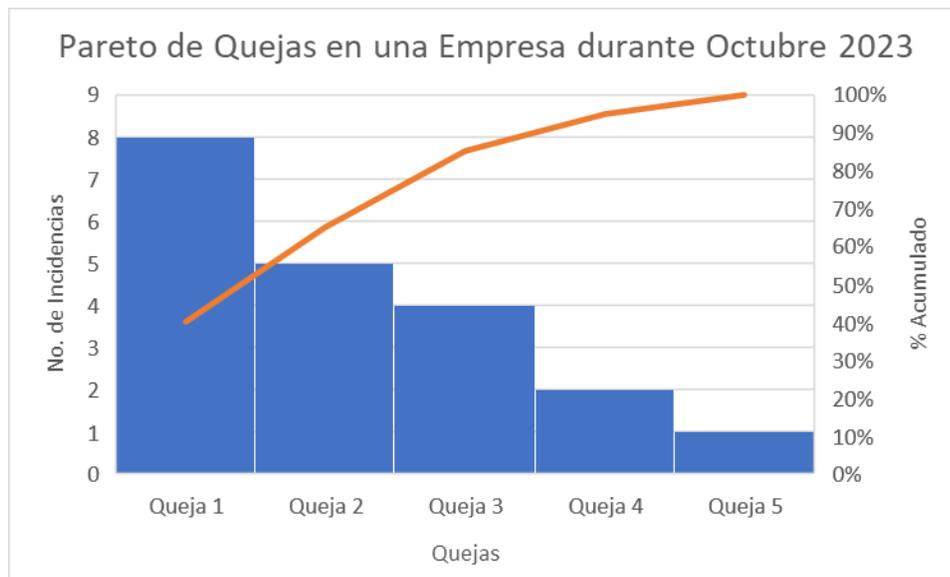


Figura 2.8 Gráfico de Pareto de Quejas en una empresa durante el mes de octubre 2023.

Fuente: Propia, 2023

7. Analizar el gráfico: Como último paso se analiza el gráfico en donde se toma en cuenta que de las 5 quejas que representa el 100 % del problema, si se actúa en función de resolver las primeras 3 quejas se puede resolver el 85 % del problema atacando así las quejas que más contribuyen al problema en general. Al final este es el principio de Pareto que permite identificar cuáles son las causas que se pueden atacar primero para minimizar el problema.

2.6 Quinta herramienta: Histograma

Los histogramas tienen como objetivo mostrar la distribución de frecuencias de datos obtenidos por mediciones periódicas. Son herramientas que ayudan a ver el centro, la extensión y la forma de un conjunto de datos.

Para generar un histograma, primero se debe determinar el rango de valores de datos de cada barra. Los rangos de las barras se conocen como clases o intervalos. La mayoría de las veces las clases son del mismo tamaño y se establecen en el eje de las X en un gráfico.

Por otro lado el eje horizontal del histograma (eje X) muestra sus valores de datos, con cada barra correspondiendo a un rango de valores. El eje vertical muestra cuántos puntos de datos tienen valores en el rango de cada barra.³³

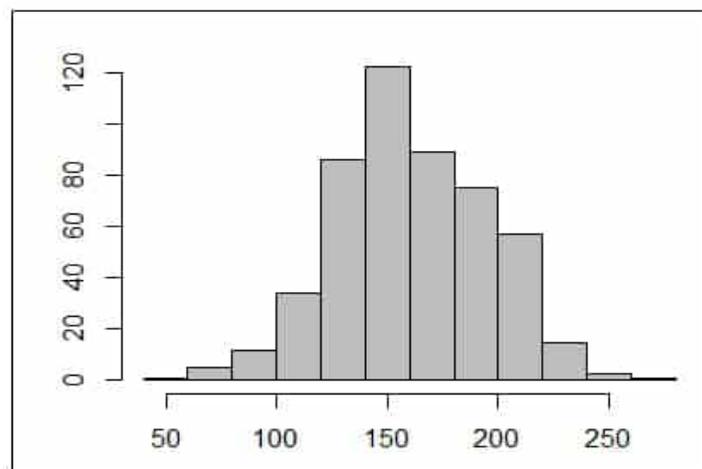


Figura 2.9 Ejemplo de un histograma.

Fuente: Manuel Molina, WordPress

2.7 Sexta herramienta: Diagrama de Dispersión

El diagrama de dispersión es una herramienta utilizada cuando se desea realizar un análisis gráfico de datos bivariados, es decir, muestra lo que sucede con una variable cuando la otra cambia.

El diagrama de dispersión tiene el propósito de controlar mejor un proceso y mejorarlo, sobre todo resulta indispensable conocer cómo se comportan algunas variables o características de calidad entre sí, esto es, descubrir si el comportamiento de unas depende del comportamiento de otras, o no, y en qué grado.

Se le llama diagrama de dispersión, porque al momento de graficar los puntos de coincidencia de cada variable con respecto a la otra, estos puntos se van dispersando o posicionando en el diagrama de acuerdo con el grado de relación entre ambas.³⁴

Para construir un diagrama de dispersión se pueden seguir los siguientes pasos:

1. Definir las variables
2. Determinar escalas para las variables del diagrama: Diseñar las escalas apropiadas para los ejes X y Y. Se deben definir previamente los rangos de cada variable (su mínimo y su máximo) así como su unidad de medida para trazar la escala y en ella indicar los valores que van a medir.
3. Recolectar los datos del diagrama: Se recopilan datos relacionados a las variables que se eligieron previamente para analizarse o que se van a registrar durante un experimento.

Por lo tanto, se considera “n” como número total de datos a analizarse de la forma (X_i, Y_i) , con $i = 1, 2, 3, \dots, n$ donde X_i y Y_i representan los valores respectivos de las dos variables.

Total de muestras	X	Y
n	Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa*s)
1	10	5.6
2	15	5.2
3	20	4.9
4	25	4.6
5	30	4.2
6	35	4
7	40	3.8
8	45	3.7

Figura 2.10 Tabla de datos de la viscosidad de una tinta a diferentes temperaturas.

Fuente: Propia, 2023

4. Construcción del gráfico: Después de tener los datos correspondientes al número de ensayos, los datos son gráficos en su eje correspondiente de acuerdo con la escala establecida previamente en el punto 2.

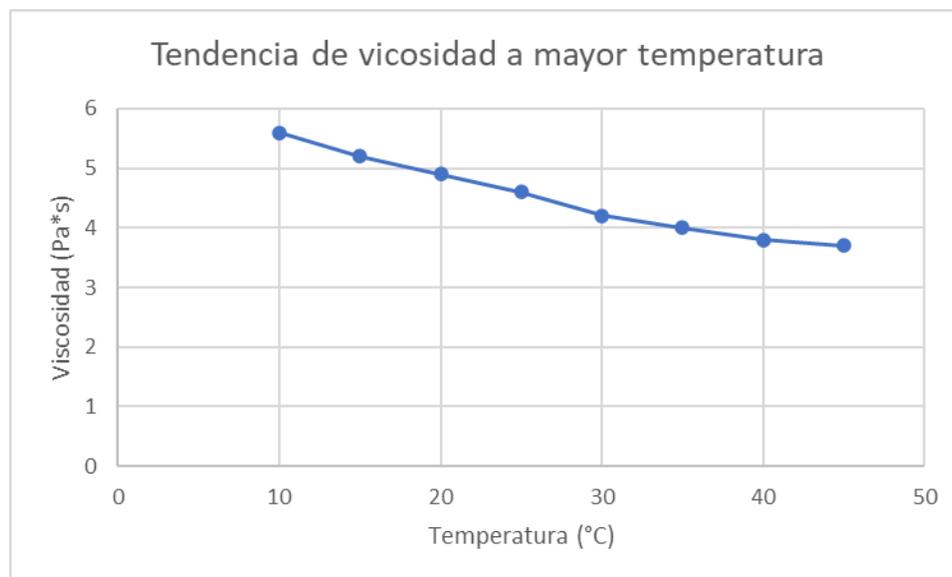


Figura 2.11 Gráfico de dispersión de viscosidad vs temperatura de una tinta.

Fuente: Propia, 2023

En un diagrama de dispersión, el patrón de puntos puede asumir formas diversas, dependiendo de la relación que exista entre las variables. Basándose en lo anterior

la lectura de un gráfico de dispersión se hace en base al tipo de relación entre los datos; lo fuerte o débil de la relación, la forma de la relación y la posible presencia de punto anómalos.

Si el patrón de puntos asume una forma parecida a una línea recta, se dice que existe una relación lineal entre las variables.

La relación entre los datos se denomina “correlación positiva” cuando a un aumento en el valor de la variable X le acompaña un aumento en la otra variable.

El caso inverso en el diagrama da lugar a la llamada “correlación negativa”.³⁴

2.8 Séptima herramienta: Control Estadístico de Proceso (CEP)

Esté gráfico es utilizado para mostrar las tendencias de los puntos de observación en un período de tiempo. Es un tipo de gráfico utilizado para el seguimiento del proceso, determinando el rango de tolerancia limitado por la línea de control superior (LSC) y una línea de control inferior (LIC) y una línea media del proceso o límite central (LC), que son estadísticamente determinadas.²⁶

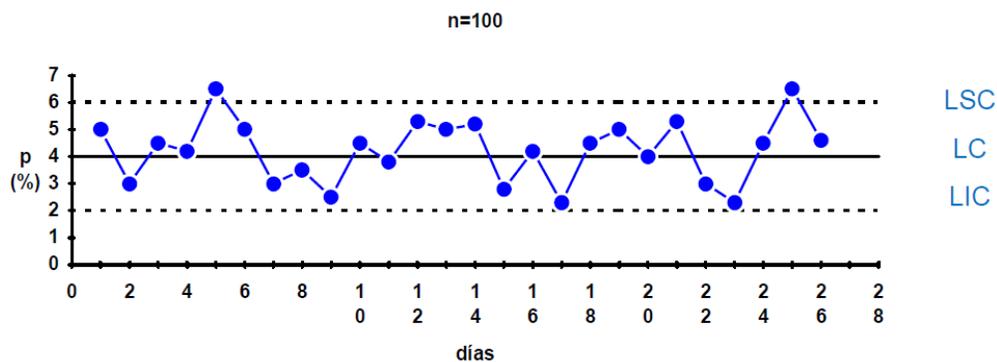


Figura 2.12 Gráfico de control de producción a lo largo de un tiempo determinado.

Fuente: Keisen, 2023

CAPÍTULO 3. Implementación del Gemba

3.1 Definición de Gemba

Gemba es una palabra japonesa que significa “lugar dónde ocurre la acción”. Por lo tanto, el Gemba es el lugar donde se crea el valor necesario para que satisfaga las necesidades y exigencias del cliente. En consecuencia, es en el Gemba de dónde surge toda la información y el lugar con el que la gerencia debe mantener un contacto estrecho a fin de solucionar cualquier problema que surja allí por lo que permanecer en contacto con el Gemba y comprenderlo es el primer paso para dirigir un lugar de producción de forma eficaz.³⁵

3.2 Reglas de oro para realizar un buen GEMBA

Dentro de la metodología de los japoneses, Kaizen es el concepto de mayor importancia de la administración japonesa y clave del éxito competitivo japonés. Masaaki Imai, autor de libro KAIZEN lo define de la siguiente manera:

"Kaizen significa mejoramiento progresivo que involucra a todos, incluyendo tanto a gerentes como a trabajadores. La filosofía Kaizen supone que nuestra forma de vida -laboral, social o familiar- merece ser mejorada de manera constante."³⁵

La metodología Kaizen sugiere 5 reglas esenciales para poder realizar un buen Gemba en el lugar donde ocurren los hechos, las cuales son las siguientes:

1. Acudir primero al Gemba: como asunto de rutina o verificación, los involucrados en el seguimiento de la operación deben definir un sitio estratégico dentro de la planta que les permita observar atentamente qué sucede.
2. Verifique el Gembutsu: Gembutsu significa en japonés algo físico o tangible. En el Gemba, Gembutsu se refiere a cualquier indicador visual (alerta) que indique que algo dentro del proceso está pasando fuera de lo normal. Esta alerta puede hacer referencia a máquinas descompuestas, productos

rechazados, herramientas que hayan sufrido algún daño, mercancías devueltas, quejas por parte de los clientes, etc.

3. Tomar medidas preventivas temporales: Ante cualquier alerta que se detecte dentro del proceso, es importante preguntarse la razón de la desviación y adoptar un enfoque de sentido común como primer paso. La idea central de este ejercicio es poder pensar en alguna acción rápida que sea de alto impacto y de bajos recursos que pueda disminuir o resolver en su totalidad el problema encontrado.

En caso de que las acciones rápidas no resuelvan la causa, el problema deberá atenderse con un grupo de análisis con personas que tengan más conocimiento en el tema para que puedan analizar la situación hasta identificar las causas raíz del problema.

4. Encontrar la causa fundamental: Una de las herramientas más útiles para encontrar la causa raíz de un problema es el uso de las herramientas de calidad.

5. Estandarizar para evitar la repetición: El método de fabricación de un producto en ocasiones presenta desviaciones que son difíciles de evitar debido a factores externos que no se pueden controlar y que generan resultados con amplia variación. Sin embargo, es muy importante que, ante esta situación, el equipo formado por diferentes áreas con conocimientos en el tema esté comprometidos con solucionar los problemas de variación dentro de la planta y asegurarse de establecer los controles necesarios para evitar que las fallas vuelvan a aparecer. Una vez que se haya encontrado la mejora a través de las nuevas propuestas, el nuevo proceso necesita estandarizarse y verificar la efectividad de este, permitiendo la actualización de un nuevo procedimiento de operación estándar (Standard Operation Procedure, SOP) que garantice que todos los trabajadores del Gemba actuarán de la misma manera y evitarán dicho problema.³⁶

CAPÍTULO 4. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

4.1 Objetivo general

Identificar y analizar las variables de proceso críticas que intervienen en el ciclo de manufactura de las dispersiones de pigmento en Siegwark México para la fabricación de tinta final flexográfica con la finalidad de reducir la variación de los resultados de calidad de dichos productos.

4.2 Descripción del proyecto

El presente proyecto se enfocó en optimizar el proceso de manufactura de las dispersiones de pigmento con mayor número de defectos a través de la definición de controles de operación durante su producción. La generación de la documentación pertinente de las condiciones de proceso de la mejora ayudará a estandarizar el método de producción de las dispersiones de pigmento y así mejorar el indicador del área de desarrollo de tecnología en Siegwark México. Este indicador es el FTG (First Time Good, por sus siglas en inglés) que considera al número de productos aprobados sin necesidad de ser ajustados o reprocesados.

Los objetivos particulares del proyecto son:

- Establecer cuáles son las dispersiones con mayor incidencia de ajustes o reprocesos que permitirá estratificar el problema y priorizar el estudio a esos productos con ayuda de la ley de Pareto.
- Evaluar la documentación del procedimiento actual de manufactura de las dispersiones de pigmento y asegurar que las instrucciones se lleven a cabo para su continua fabricación.
- Identificar los principales puntos críticos que se deben cuidar en el proceso de manufactura en la planta Narrow Web para mejorar el FTG en las dispersiones de pigmento para desarrollar tinta flexográfica.

- Proponer un documento de liberación de procesos que sirva como referencia para la estandarización de las condiciones de operación para la producción de nuevas dispersiones de pigmento.

4.2.1 Descripción del puesto de un Ingeniero Químico en el área de Desarrollo de la Tecnología

El perfil de egreso de un ingeniero químico de la UAEMéx enuncia que el egresado se desarrolla en diversas áreas relacionadas al sector productivo, a consultorías de diseño y de capacitación, a investigación, desarrollo tecnológico y de educación. Por esa razón, los egresados de dicha licenciatura deben ser capaces de administrar y ejecutar procesos y proyectos químicos, extractivos o de manufactura; aprovechando racionalmente los recursos; generar conocimiento aplicable a la ingeniería química; y atender la necesidad de asimilar, adaptar, validar y transferir tecnología de procesos fisicoquímicos, entre otros.³⁷

Actuando con un enfoque de sustentabilidad y emprendedurismo, mediante la aplicación de los conocimientos propios de la ingeniería química y de habilidades como:

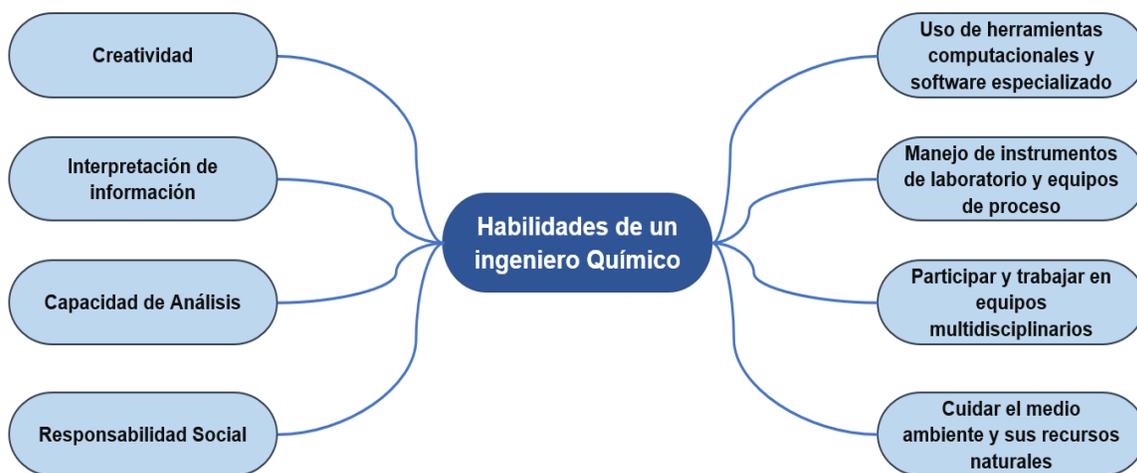


Figura 4.1 Habilidades de Ingeniero Químico.

Fuente: Elaboración Propia.

Las actividades que realiza un ingeniero químico en el área de desarrollo de tintas son de alto valor para la compañía y para las demás áreas relacionadas con el escalamiento de un nuevo producto. Para esto, el profesionalista debe tener conocimientos sobre las propiedades fisicoquímicas de resinas, estabilizadores, dispersantes, pigmentos, aceites, solventes, formadores de películas, modificadores reológicos, ceras, silicones, foto-iniciadores, etc. Además de contar con el conocimiento para operar equipo de laboratorio especial para medir propiedades reológicas, color y concentración de tintas, obtención de tamaño de partícula del pigmento utilizado para fabricar dispersiones de pigmento para cada una de las tecnologías disponibles en la cartera de la empresa y por último, interpretar las diferentes pruebas técnicas físicas y químicas que se realizan a una impresión de tinta sobre sustrato para determinar su eficiencia de acuerdo a las necesidades de producto terminado de los clientes.

Sumado a lo anterior, en el área de desarrollo en tintas se requiere investigar, innovar y evaluar nuevas alternativas relacionadas a materias primas y a nuevas tecnologías del mercado con el objetivo de mejorar la competitividad de productos que puedan satisfacer las necesidades de los clientes. Para la realización de esta actividad es importante la relación con diferentes tipos de proveedores para la petición de muestras. Por otro lado, el análisis de volumen y costos deben considerarse antes de realizar pruebas a nivel laboratorio para definir si son materiales potenciales que mejoren la rentabilidad de los productos y generen el mismo performance esperado. Por esta razón es muy importante el conocimiento en parámetros cuantitativos y cualitativos del color (colorimetría), la cual, también es una habilidad muy requerida para poder igualar diferentes tonalidades basadas en guías de colores reconocidos que se encuentran identificados con un código específico y que es tomado a nivel mundial, a estas referencias de color se les conoce como sistemas de color de Pantone.



Figura 4.1 Guías Pantone.

Fuente: Pantone, 2020.

Después de realizar el desarrollo o igualación de nuevas tonalidades, las tintas son explosionadas como lotes piloto y en el área de producción el ingeniero de desarrollo es el principal responsable de validar el proceso de fabricación de principio a fin de las primeras fabricaciones, y en caso de ser necesario realizar ajustes de proceso o de formula durante la marcha. Una parte importante en esta actividad es la generación de procedimientos estandarizados de operación con la finalidad de liberar el proceso de manufactura para cada uno de los siguientes lotes.

Al igual que otras empresas productoras de tinta, Siegwerk desea brindar una buena calidad de sus productos y también proporcionar el mejor servicio a los clientes mediante tiempos de entrega cortos, estudios de mercado, ideas de marketing y en general crear una mayor confianza en cuanto al desempeño de los procesos de manufactura de los diferentes productos que se desarrollan y elaboran dentro de la empresa. Con respecto a este último, es necesario implementar la documentación necesaria para establecer un mejor control del proceso que nos permita cumplir con los requerimientos internos y externos del mercado.

4.2.2 Impacto de la Experiencia Laboral

Actualmente Siegwerk México ofrece diferentes productos de su cartera nacional e internacional, pero también proporciona servicio técnico de alto nivel y de manera inmediata.

Dentro de la organización, los diferentes departamentos también generan productos y servicios que generan valor y que tienen la calidad adecuada para que se satisfagan las necesidades de los clientes. Por lo tanto, ante los grandes retos del mercado es importante que todos los integrantes de la empresa establezcan objetivos claros desde cada uno de sus campos de manera organizada que aporten positivamente al funcionamiento de la compañía y a su constante desarrollo.

Tal es el caso del departamento de desarrollo de tintas de Narrow Web. El departamento es el encargado de la generación, planeación y la evaluación de los nuevos productos que la empresa pone en el mercado. En la ejecución de la labor, el departamento de lleva a cabo esta actividad a través de un sistema o proceso de seguimiento de los nuevos productos que van desde lo generando en el laboratorio hasta su producción en la planta.

Una de las tecnologías que genera mayor volumen de ventas para el área de desarrollo de Narrow Web es la flexografía, la cual se formula a partir de productos semiterminados de alta pigmentación (dispersiones de pigmento) que se generan para diferentes plantas de Siegwerk alrededor del mundo y que son mezcladas con diferentes aditivos para obtener las propiedades reológicas necesarias para su aplicación final en máquinas de impresión flexográfica.

Las ventas de las dispersiones de pigmento han ido aumentando a partir del año 2020 en Siegwerk México. Debido al incremento en la demanda de este producto ha sido necesario establecer controles internos que permitan estandarizar los procesos de cada uno de los productos de esta línea de producción. Por medio de la identificación y medición de variables críticas que mediante su control nos permitan obtener resultados con menor variación que entren dentro de los límites de control establecidos.

En la medida de que existan documentos con la información estandarizada del proceso de manufactura y su continuo seguimiento, ayudarán a tener un mejor desempeño del área de producción para poder enfocar esfuerzos en otras acciones que generen mayor valor agregado a los productos.

CAPÍTULO 5. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

5.1 Análisis de FTG durante el año 2020 como punto de referencia para estratificar el proyecto

El FTG es un KPI (Key Performance Indicator, por sus siglas en inglés) muy importante para el área de desarrollo de nuevos productos ya que es un parámetro que permite medir que tan eficiente es el proceso de manufactura de los productos.

El FTG permite recopilar información sobre el criterio de liberación (aprobado o reprocesado) de los lotes producidos durante un periodo de tiempo. Para el desarrollo de este proyecto, el análisis de este parámetro es importante para la estratificación del problema hasta poder identificar los productos que generan el mayor número de lotes con deficiencias con respecto a la evaluación de calidad que se realiza a cada uno de ellos.

Para construir el primer nivel de estratificación del problema se buscaron los datos de liberación de todos los lotes fabricados en el año 2020 para tomarse como referencia de partida. Esta información fue obtenida del sistema de SAP que es un sistema informático que Siegwerk utiliza para capturar datos relevantes sobre el negocio, en esta herramienta se pueden encontrar datos sobre la administración de sus recursos, financieros-contables, productivos y logísticos entre otras cosas.

Una vez que se obtuvo la base de datos de SAP, se exportó la información a una hoja de Excel y posteriormente se realizó el ejercicio del cálculo del FTG mes por mes para el año 2020, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$\%FTG = \frac{\text{Numero de lotes liberados sin ajuste o reproceso}}{\text{Numero de lotes totales}} * 100$$

Por otro lado, también es importante conocer el número de lotes que no fueron aprobado bajo FTG, estos lotes por lo tanto se toman como aquellos que necesitaron de algún reproceso para poderse liberar por calidad. Este tipo de lotes se conocen por NON-FTG y se obtienen de la diferencia entre el número total de lotes producidos y los lotes liberados sin ajustes.

Tabla 1. Datos de liberación de lotes fabricados en la planta NW de Siegwerk México en el año 2020.

Fuente: Elaboración propia.

	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20
Total de lotes producidos	153	132	143	194	164	106	222	152	149	140	100	163
Lotes aprobados a la primera (FTG)	125	109	112	164	126	76	178	137	131	127	87	140
Lotes con ajustes y reprocesos (NON-FTG)	28	23	31	30	38	30	44	15	18	13	13	23
% FTG	81.7	82.6	78.3	84.5	76.8	71.7	80.2	90.1	87.9	90.7	87	85.9
%FTG Objetivo	91											

Como se puede observar en la **Tabla 1**, el objetivo que Siegwerk México estableció para la planta de NW en el año 2020 fue cumplir con un FTG del 91%, dicho de otra manera, el objetivo fue que el 91% de todos los lotes fabricados en la planta NW fueran liberados sin ajustes para el año 2020.

Tomando en cuenta el objetivo del 2020 y la información de liberación de los lotes fabricados en ese año, se generó la siguiente gráfica:

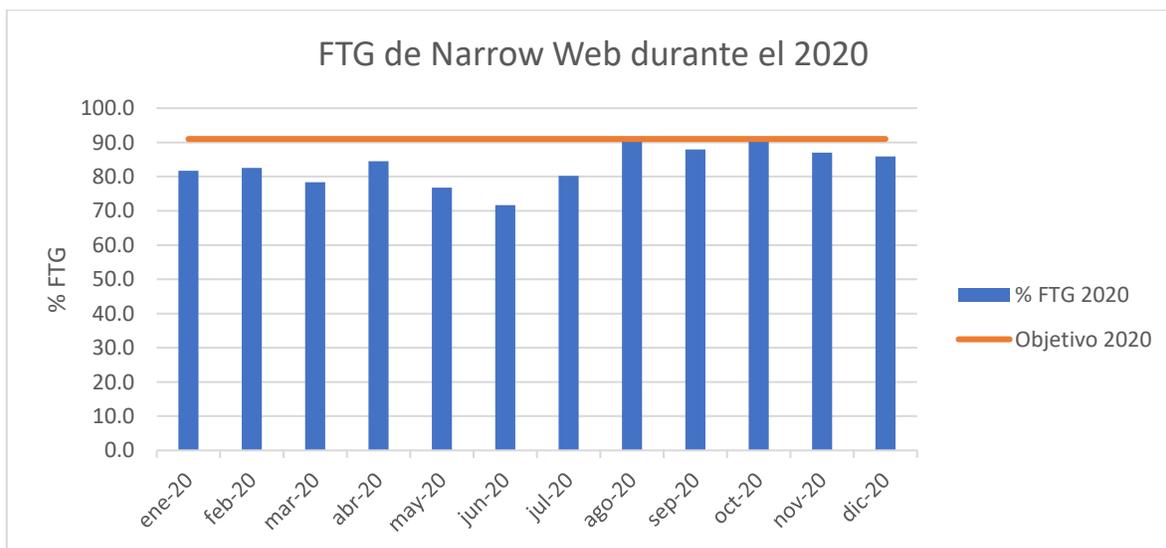


Gráfico 1. FTG de Narrow Web durante el 2020.

Fuente: Elaboración Propia.

Analizando los datos del **Gráfico 1** podemos concluir que el promedio del porcentaje de FTG del año 2020 fue de 83.1 % el cual se encuentra debajo del objetivo, que es del 91.0 %.

El porcentaje de FTG faltante para alcanzar el 100 % del objetivo fue del 16.9 % que corresponde a los lotes NON-FTG que tuvieron alguna desviación en la evaluación de sus atributos de calidad o durante el proceso de fabricación.

A partir de este indicador es que surge la necesidad de analizar para la planta de NW las líneas de productos que están generando el mayor impacto en esta desviación y hacer las mejoras necesarias para incrementar el número de lotes liberados con FTG para así cumplir con el objetivo al para el año 2021.

Por otro lado, los ajustes o reprocesos a lotes desviados son acciones que, si bien sirven para no generar rechazos internos, si generan gastos adicionales a los ya establecidos previamente para la producción de cada uno de estos productos. En consecuencia, se aumenta el consumo de recursos como materias primas, energéticos como la electricidad debido al uso de los equipos de producción, mayor empleabilidad de mano de obra, tiempos prolongados de entrega de otros materiales, etc. Todas estas variables afectan el diseño de las condiciones de operación originales de los productos y se deben de tomar en cuenta a la hora de analizar resultados y sobre todo cuando se plantean hipótesis sobre las posibles causas de cualquier desviación, estas pueden detectarse rápidamente con ayuda de gráficos de control.

Por los motivos anteriores es necesario identificar y analizar las variaciones en el proceso de manufactura de los productos para poder implementar acciones correctivas que prevengan la generación de productos fuera de especificación o no conformes con los requerimientos de los clientes.⁴⁰

5.2 Estratificación por líneas de producción

Del análisis anterior se encontró que el 16.9 % representa el NON-FTG. Por lo tanto, los lotes que representan ese porcentaje son la población objetivo con la que se tiene que trabajar para poder optimizar los resultados obtenidos durante el año 2020. Para este ejercicio se realizó una búsqueda de información para encontrar a que líneas de producción pertenecen los lotes del NON-FTG encontrado en la **Tabla 1**, las cuales se describen en el siguiente esquema.

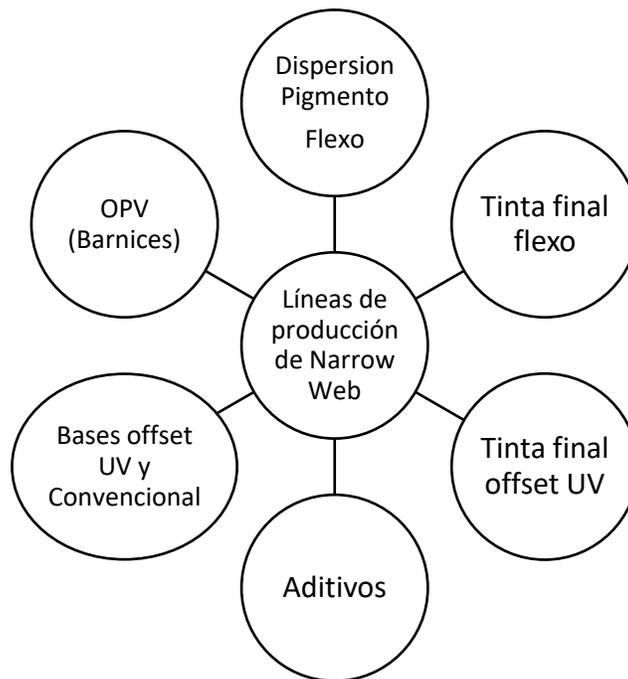


Figura 5.1 Esquema con las líneas de producción de Narrow Web que presentaron NON-FTG en el año 2020.

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez que se establecieron las líneas de producción objetivo y con la información de los lotes que presentaron desviaciones en el FTG se construyó una tabla con el porcentaje de NON-FTG que representaba cada línea de producción.

Tabla 2 Datos con el número de lotes con NON-FTG durante el año 2020 de cada una de las líneas de producción de Narrow Web.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Producto	No. de lotes NON-FTG 2020	% NON-FTG	% Acumulado
Dispersiones Pigmento Flexo	154	50.33	50.33
Tinta final Flexo	87	28.43	78.76
Semielaborados aditivos	34	11.11	89.87
Tinta final offset UV	17	5.56	95.42
Dispersiones offset UV	9	2.94	98.37
OPV	5	1.63	100.00
Total	306	100	-

En la columna 2 de la **Tabla 2** se puede observar la frecuencia de eventos que fueron NON-FTG de cada familia de productos que se producen en la planta de Narrow Web.

También se calculó el porcentaje de NON-FTG en la columna 3 y el porcentaje acumulado en la columna 4 de la **Tabla 2** para poder representar los datos en un gráfico de Pareto el cual nos ayudará a visualizar cuál de las líneas es la que generó mayor número de eventos con deficiencias en el año 2020.

Después se definieron las siguientes variables a tomarse en cuenta para la construcción del Pareto:

- **Causas:** En el eje 'X' se colocan las líneas de producción y en el eje 'Y' izquierdo el número de ocurrencias o la frecuencia de eventos NON-FTG.
- **Frecuencia acumulada:** consiste en una curva acumulada sobre el gráfico de barras donde en el eje Y derecho se coloca el acumulado de 0% a 100%.

De los supuestos anteriores, se obtiene el Pareto correspondiente a las líneas de producción con mayor impacto a la solución de la reducción de eventos de NON-FTG.

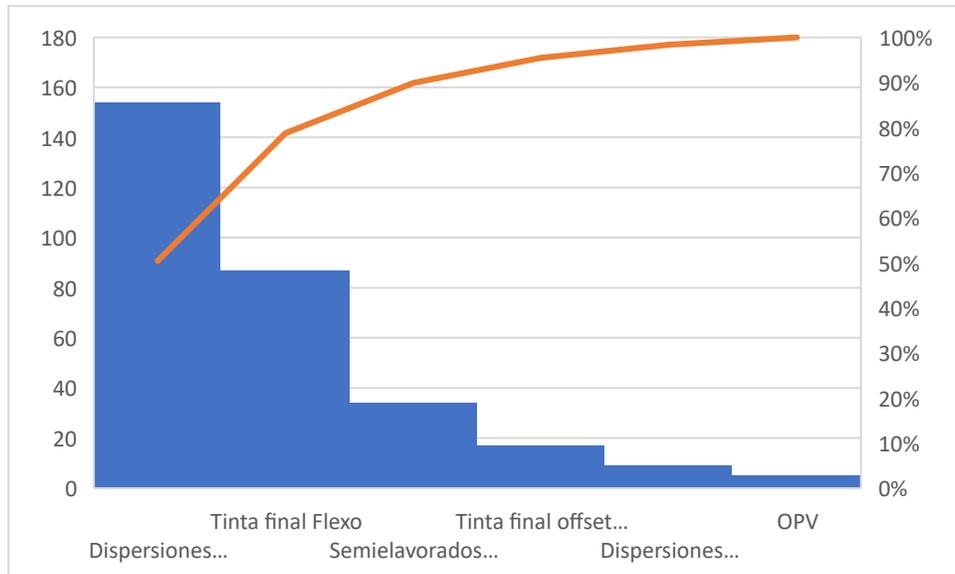


Gráfico 2 Líneas de producción con eventos NON-FTG de la planta Narrow Web en el año 2020.

Fuente: Elaboración Propia.

Del **Gráfico 2**, se puede observar que las líneas con mayor impacto en la solución son las dispersiones de pigmento y la tinta final flexográfica. Si se mejoran ambas líneas de producción se puede obtener aproximadamente 78.76 % de la solución del problema.

Las tintas finales flexográficas son productos terminados que se formulan a partir de las dispersiones de pigmento y también observamos que estas últimas tienen casi el doble de impacto en el FTG más que las tintas finales flexográficas. Por otro lado, resulta más complejo la ruta de proceso de las dispersiones ya que tienen que pasar por pre-dispersión y por molienda, mientras que las tintas flexográficas solo requieren de un mezclado a ciertas condiciones. Sumado a esto Calidad ha reportado constantemente que los problemas en la línea de tintas flexográficas a menudo son por temas de pequeñas desviaciones en la reología de estas tintas y si las dispersiones están teniendo el mismo problema podemos proponer la hipótesis de que las variaciones de las dispersiones son las que directamente causan la desviación en la otra línea. Esta dependencia de una línea respecto a la otra es la razón principal por la que fue seleccionada como primer objeto de estudio el análisis de la producción de las dispersiones de pigmento por parte de los

gerentes del equipo de desarrollo de nuevos productos para poder mejorar los controles que se tienen actualmente en su proceso de manufactura y así definir acciones que reduzcan los eventos NON-FTG para el año 2021.

5.3 Selección de productos de análisis

Para empezar a revisar y monitorear las condiciones de proceso que se tienen en cada uno de los productos de la línea de dispersiones de pigmento, se buscó el registro de los productos que pertenecen a esta línea.

La planta de Siegwark México produce un total de 22 dispersiones de pigmento de las cuales 8 tienen eventos de NON-FTG en el año 2020, estos datos de acuerdo con la información obtenida de la herramienta SAP. El resto de las bases son aprobadas normalmente dentro de especificaciones.

Para poder visualizar el impacto de cada producto en cuanto al NON-FTG, se obtuvieron los siguientes datos de las 8 dispersiones más críticas.

Tabla 3 Datos de las dispersiones con mayor impacto de lotes NON-FTG durante el 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción	No de lotes NON-FTG	%	% Acumulado
DISPERSION VIOLET PV23	57	37.01	37.01
DISPERSION CYAN PB154	42	27.27	64.29
DISPERSION BLACK PBK 7	25	16.23	80.52
DISPERSION RED PR571 CRMX	10	6.49	87.01
DISPERSION YELLOW PY14	8	5.19	92.21
DISPERSION RED PR166	6	3.90	96.10
DISPERSION GREEN PG7	4	2.60	98.70
DISPERSION ORANGE PO13	2	1.30	100.00

Con los datos de la **Tabla 3**, se construyó el siguiente diagrama de Pareto para los productos de bases concentradas:

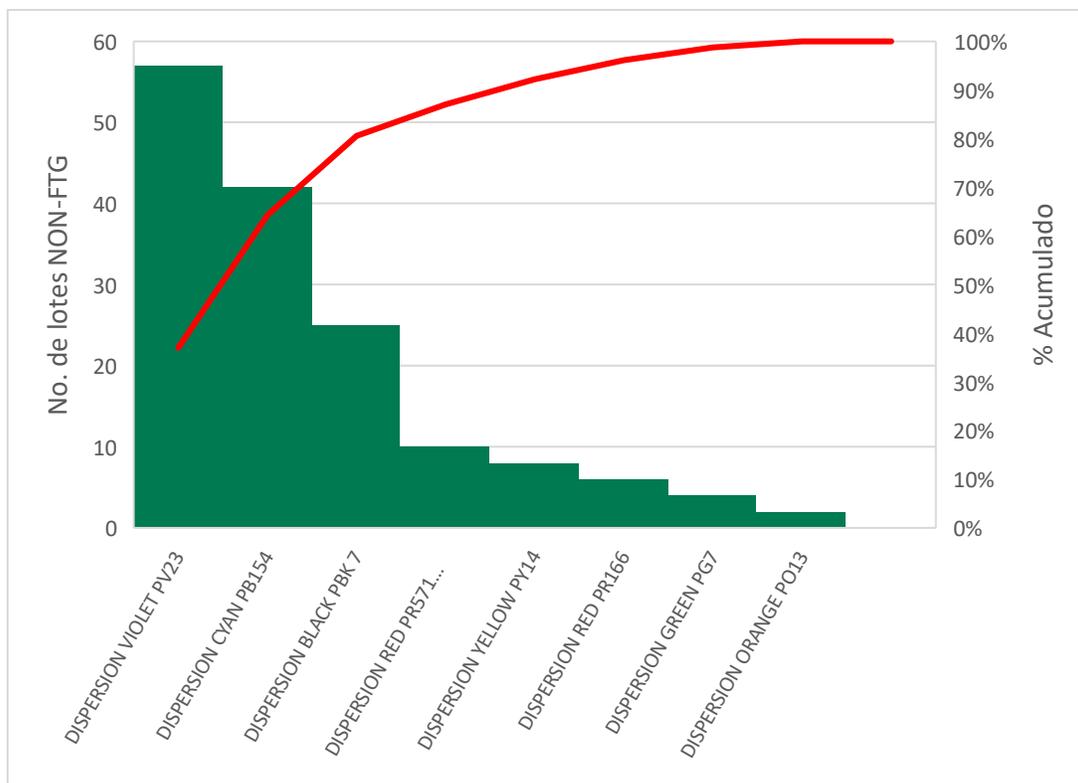


Gráfico 3 Lotes NON-FTG por producto dentro de la línea de Bases flexo durante el 2020.

Fuente: Elaboración Propia.

El **Gráfico 3** mostró que los productos que tienen mayor incidencia de NON-FTG y que representan un 80% aproximadamente del total del problema en la línea de dispersiones flexográficas fueron la Dispersión Violet PV23 (tonalidad violeta), la Dispersión Cyan PB15:4 (tonalidad azul) y la dispersión Black PBK7. Estas tres dispersiones además forman parte de los cuatro colores del CMYK el cual es un modelo de color sustractivo fundamental en el mundo de la impresión, El nombre CMYK proviene de los cuatro colores principales a partir de los que se construyen todos los demás, los cuales son el cian, el magenta, el amarillo y el negro. A partir de estos colores principales se pueden obtener los otros mediante mezclas.

Visto lo anterior tanto la dispersión Cyan PB 15:4 y la Black PBK 7 son las más vendidas, mensualmente se producen alrededor de 15 lotes de 1 tonelada por cada base debido al uso tan frecuente de cada una de ellas.

Las dispersiones Cyan PB 15:4 y la Black PBK 7 tienen una reología menor comparada con la Violet, su viscosidad va desde 1.0 a 3.0 Pa.s, a este tipo de perfil reológico se le conoce como "cuerpo viscoelástico".

Por otro lado, la dispersion Violet PV23, que es el producto que tuvo mayor número de lotes con desviaciones tiene un cuerpo más espeso, sus valores de viscosidad van desde 50 a 200 Pa.s, las propiedades reológicas de esta dispersión entran en un perfil de tipo "Pasta". A pesar de tener un rango de viscosidad, hay mucha tolerancia para la aprobación de esta propiedad para la dispersión Violet PV23. Sin embargo, de entrada, se conoce que las bases con perfil de "Pasta" se procesan de manera diferente al ser estas más viscosas.

De lo anterior, en la **Tabla 4** se recopiló información sobre las otras dispersiones que se quieren optimizar para poder definir los tipos de proceso que se podrían encontrar a la hora de realizar el Gemba.

Tabla 4 Datos generales de las particularidades en el proceso de fabricación de las dispersiones con mayor impacto de lotes NON-FTG durante el 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de la dispersión	Cuerpo de la dispersión	Tipo de propela de mezclado	Tipo de molienda
DISPERSION VIOLET PV23	Como pasta	Mariposa	Molino de Tres Rodillos
DISPERSION CYAN PB154	Viscoelástica	Disco de aspas	Molino de Perlas
DISPERSION BLACK PBK 7	Viscoelástica	Disco de aspas	Molino de Perlas
DISPERSION RED PR571 CRMX	Viscoelástica	Disco de aspas	Molino de Perlas
DISPERSION YELLOW PY14	Viscoelástica	Disco de aspas	Molino de Perlas
DISPERSION RED PR166	Como pasta	Mariposa	Molino de Tres Rodillos
DISPERSION GREEN PG7	Viscoelástica	Disco de aspas	Molino de Perlas
DISPERSION ORANGE PO13	Viscoelástica	Disco de aspas	Molino de Perlas

Como se puede observar, las otras dispersiones con defectos guardan en su mayoría un procedimiento de manufactura parecido a las dispersiones Cyan PB 15:4 y la Black PBK7. Tomando en cuenta este análisis se puede decir que hay una manera de clasificar las dispersiones flexográficas de acuerdo con el proceso de manufactura de cada una de ellas como se muestra en la **Tabla 4**.

De modo que, para sintetizar el análisis de los procesos de manufactura de las dispersiones de pigmento con mayor número de lotes NON-FTG en el año 2020 se dio comienzo con las dispersiones Violet PV23, la Cyan pb 15:4 y la Black PBK7 con la finalidad de realizar un Gemba eficiente para poder definir cuáles son las variables críticas que nos puedan ayudar a controlar y reducir la variación en los resultados finales de las dispersiones y posteriormente replicar la mejora con las dispersiones restantes buscando tener mejores resultados de FTG para el año 2021.

5.4 Análisis de la variación en el proceso de manufactura de la dispersión Violet PV23

5.4.1 Mapeo de proceso de manufactura de la dispersión Violet PV23

La dispersión con la que se empezó el seguimiento del Gemba. Fue la Violet PV23, esto debido a que fue la que mostró la mayor desviación en el análisis de Pareto del **Gráfico 3**.

Primero se acudió a planta NW y con apoyo del gerente de planta y el supervisor se realizó un diagrama de flujo para conocer cada una de las etapas en el proceso de fabricación de la dispersión, así como de los equipos que intervienen para la generación de la dispersión Flexo Violet. En la **Figura 5.2** se puede observar el proceso de fabricación de la dispersión que posteriormente nos ayudará a analizar las actividades que se realizan durante todo el proceso.

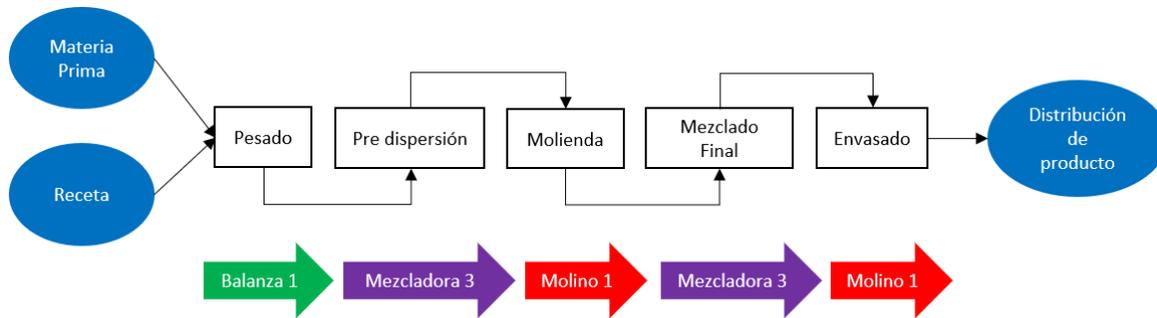


Figura 5.2 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la dispersión Violet PV23 en la planta NW de Siegwark México.

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.2 Descripción de las etapas involucradas en la elaboración de la dispersión Violet PV23

De acuerdo con la **Figura 5.2** de la dispersión Violet PV23, las acciones que se realizan en cada una de las etapas de manufactura son las siguientes:

- a) Entrada de Materia Prima: En esta etapa del proceso el departamento de calidad evalúa las entradas de materia prima que serán destinadas a usarse para la formulación de la dispersión. Calidad es la primera área responsable de que las cualidades de los insumos sean las mejores ya que analizan si se aprueba o se rechaza un material dependiendo de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas de viscosidad, brillo, densidad, etc.

- b) Generación de la receta de proceso: La receta de proceso es un documento generado principalmente por el área de Desarrollo de Nuevos Productos ya que contiene las condiciones iniciales de manufactura de las dispersiones, cabe mencionar que anteriormente ya se había trabajado en definir condiciones de operación tanto para la dispersión Violet PV23 como para las otras dispersiones que quieren optimizar. Sin embargo, la

información inicial de estas condiciones, las cuales se tomaron de referencia para analizar el Gemba, resultaron ser muy genéricas y con poca información tal como se mostrará más adelante en este trabajo.

Estas condiciones se definieron respecto a pruebas estandarizadas a nivel laboratorio y posteriormente se intentaron replicar a nivel producción.

Después de haber dado de alta la receta para la producción de la base Violet PV23, el departamento de Planeación gestiona los pedidos solicitados a la empresa por parte de los clientes y genera las ordenes de proceso para que el área de producción inicie la fabricación.

- c) Pesado de las materias primas: La planta de producción de Narrow Web cuenta con racks alrededor del área de pesado, en donde se almacenan las materias primas (MP) de mayor movimiento, especialmente pigmentos, monómeros, oligómeros, estabilizadores, nivelantes, resinas, foto iniciadores, etc.

En esta primera etapa del proceso de producción, se adicionan cada uno de los componentes de la fórmula de la dispersión Violet PV23 a un contenedor metálico mediante una balanza industrial (Balanza No. 1) según sea el tamaño de lote indicado en la orden de proceso. Posteriormente el contenedor es llevado a la sección de mezcladoras, donde los componentes formaran una mezcla homogénea (vehículo dispersante) cuya función será humectar el pigmento violeta de la dispersión y deshacer los aglomerados correctamente.

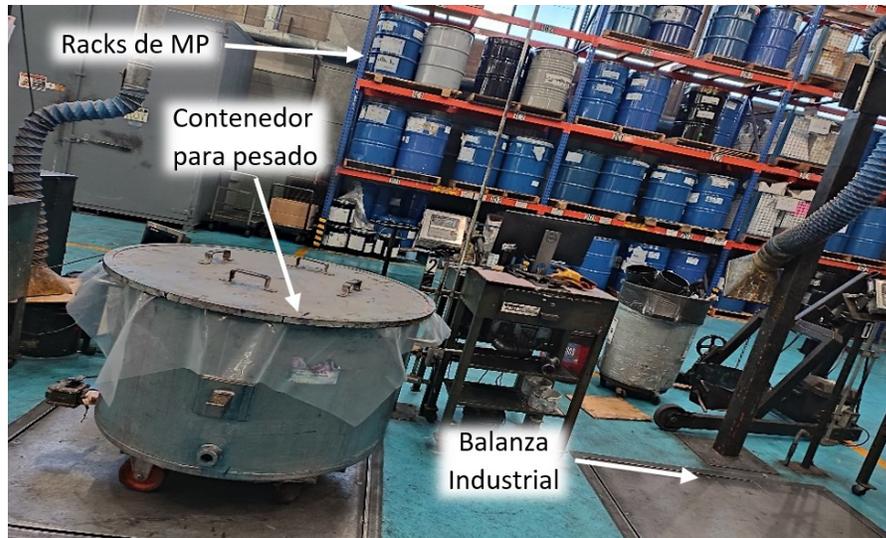


Figura 5.3 Área de pesado de la planta NW en Siegwerk México, 2022

Fuente: Elaboración Propia.

- d) Pre-dispersión: El contenedor que previamente fue llenado con los componentes del vehículo dispersante en el área de pesado a continuación es pasado a la etapa de pre-dispersión donde a través de un mezclador a alta velocidad de una propela de Mariposa (Mezcladora No. 3) se incorporara el pigmento característico de la formula. Para más información sobre la configuración que tiene la propela de mariposa puede revisarse la **Figura 1.9**.

Cabe mencionar que para la dispersión Violet PV23 como se mostró previamente en la **Tabla 4** debido a su perfil reológico de tipo “pasta” no puede mezclarse en la etapa de pre-dispersión por la propela de disco, esto debido a la viscosidad alta que tiene la dispersión después de contar con todos sus componentes.

En esta etapa el pigmento violeta es dosificado poco a poco dentro del contenedor, mientras que el movimiento de la propela se encarga de mezclar el pigmento con el vehículo dispersante para así poder humectarse. Cabe mencionar que a pesar de que el vehículo dispersante

se encuentra muy líquido en la medida que se agregue el pigmento, la dispersión ira tomando mayor viscosidad hasta formar la pasta. Después de haber terminado de adicionar el pigmento por completo se realiza un mezclado a mayor velocidad para deshacer el aglomerado del pigmento y aumentar el equilibrio del tamaño de las partículas en el vehículo dispersante.



Figura 5.4 Área de pre-dispersión y mezclado de la planta NW en Siegwark México, 2022

Fuente: Elaboración Propia.

- e) Molienda: Previamente se comentó sobre la diferencia y la importancia de la propela de mariposa para la pre-dispersión de la dispersión Violet PV23.

Para el proceso de molienda de la dispersión Flexo Violet también es necesario partir de otro tipo de molino el cual es un molino de tres rodillos (Molino 1). Esta máquina se aplica para dispersiones con alta viscosidad o de apariencia tipo pasta y que requieren un alto grado de finura.

El molino consta de tres rodillos de acero inoxidable fijos en el bastidor y accionados directamente por un motor. La dirección de rotación entre los rodillos es generalmente diferente, el rodillo delantero gira hacia adelante mientras que el rodillo trasero gira hacia atrás. Por último, el rodillo central es fijo y sigue el movimiento de los otros dos rodillos. ³⁸

Para realizar la molienda, previamente se ajusta la presión entre los primeros rodillos con ayuda de manómetros que se encuentran en el equipo, la presión hará a que los rodillos se junten y se preparen para recibir la tinta.

Después el contenedor es elevado por encima del molino de tres rodillos por medio de una prensa y por medio de un pistón hidráulico se aplica fuerza al producto para que vaya bajando por la válvula del contenedor.

Posteriormente la dispersión que sale es recibida en los primeros dos rodillos del molino en donde se reduce la cantidad de aglomerados debido a la presión.

En el último tramo del pase por molino, se acciona la presión del tercer rodillo el cual tomará poco a poco la dispersión de los otros rodillos y llevará el producto hasta una navaja al final del tercer rodillo la cual separará el material del rodillo hasta un vertedero siendo la parte final de la molienda para recibirse en otro contenedor de recolección.

Dado que produce mucho calor durante todo el proceso, el centro de cada rodillo es hueco para que exista una entrada de agua para el enfriamiento del equipo con la finalidad de asegurar los productos terminados con buena calidad.³⁸

Una vez que la base recorre los tres rodillos y es recuperada al final de este proceso se le llama "Pase completo", en este caso el número de pases completos por molino dependerá de que el tamaño de partícula sea el adecuado.

El tamaño de partícula se mide por medio de una barra de Hegman entre cada pase dado a la base en los molinos de tres rodillos. Para definir el tamaño de partícula se utiliza el grindometro para medir una pequeña parte de muestra de la molienda de la dispersión y se determina si necesita otro pase o no.

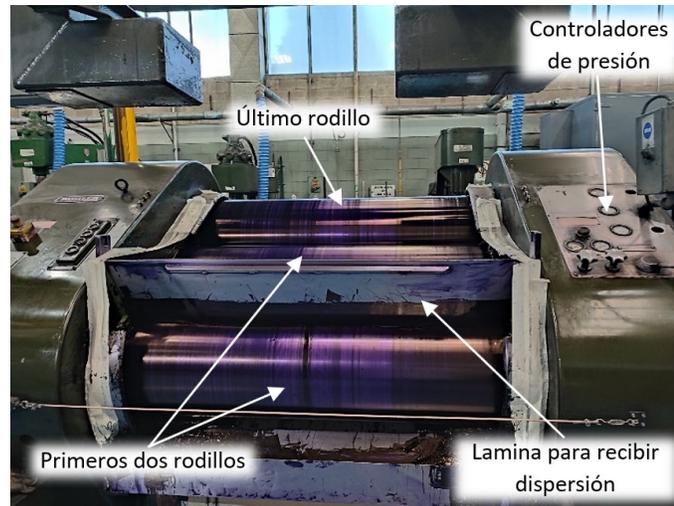


Figura 5.5 Área de molienda, Molino de tres rodillos No.1 de la planta NW en Siegwerk México, 2022

Fuente: Elaboración Propia.

- f) Mezclado Final: Para esta etapa del proceso, se toma en cuenta una segunda parte considerable de los monómeros, los cuales nos ayudarán a completar la fórmula de la dispersión Violet PV23 y a homogenizar la parte molida de la dispersión mediante un último mezclado. La incorporación final de esta segunda parte de monómeros se da en un corto tiempo puesto que el pigmento ya se encuentra disperso en el vehículo.
- g) Inspección de calidad: Después de finalizar el proceso de manufactura de la dispersión, se toma una muestra de la dispersión la cual servirá para

realizar las evaluaciones de calidad correspondientes contra un estándar. Ambas muestras se diluyen en una tinta de color blanco opaco con la finalidad de que el espectrofotómetro que es el equipo usado para la medición de color detecte con mayor facilidad cualquier desviación de tonalidad y sea más preciso el resultado de la fabricación con respecto al estándar.

Para la medición la dilución se coloca en el orificio de una placa metálica, se quita el excedente de la dilución hasta que este al nivel de la placa y se coloca un cubreobjetos para realizar la lectura. Este procedimiento de lectura se Encuentra estandarizado en todos los sites de Siegwerk ya que es una forma más precisa de leer el color mediante la densidad de color de la dispersión.



Figura 5.6 Forma de medir una dilución de color con el espectrofotómetro

Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, las propiedades reológicas se miden en el reómetro, el cual nos mide la viscosidad dinámica de la muestra de la dispersión respecto al movimiento de dos tazas de velocidad del cono-plato a 30 °C. Estos

resultados son comparados con los límites inferior y superior de las especificaciones que se encuentran en la hoja de inspección de calidad. Finalmente, si los resultados están dentro de los límites la dispersión es aprobada.

- h) Envasado: Como último paso el lote de la dispersión es dirigido al área de envasado en donde la dispersión se pasa nuevamente por molino de tres rodillos bajo un "pase abierto", el cual recibe este nombre debido a que no se emplea demasiada presión entre los rodillos para que pase la dispersión. Esta acción se realiza para quitar el aire que se haya generado en el mezclado final de la dispersión.
- i) Distribución del producto: El producto ya envasado y etiquetado se pasa a almacén para realizar la documentación y trámites necesarios para enviar las tarimas con el producto mediante un proveedor externo de transporte.

5.4.3 Documentación de manufactura para la dispersión Violet PV23

Al tener información sobre las etapas de proceso que intervienen en el proceso de fabricación de la base Violet PV23, el segundo paso del Gemba fue ir a planta NW con la finalidad de dar seguimiento a un lote industrial.

El seguimiento fue relevante para poder analizar si existía información adicional que se tuviera sobre las condiciones operativas que se deben de seguir en el procedimiento para obtener la dispersión Violet PV23. Para esto se formó un equipo de trabajo junto con los gerentes de las áreas de desarrollo de nuevos productos, producción y calidad para poder realizar el recorrido del Gemba y analizar la información documentada con la que se contaba en la planta referente a la dispersión.

De lo anterior se encontraron los siguientes documentos:

- a) Ordenes de Proceso (Tickets)

Las ordenes de proceso son documentos físicos creados por la herramienta SAP, las cuales contienen información sobre las instrucciones que los operadores deben de seguir en cada una de las etapas de proceso.

Después de haber revisado detenidamente la orden de proceso del lote que se estaba dando seguimiento y compararlo con otros tickets anteriores se observó que las instrucciones y las condiciones se encontraban en el idioma inglés y los operadores no tenían las herramientas necesarias para comprender los tickets, por lo que no se tomaba en cuenta lo que la orden decía a la hora de fabricar la dispersión Violet PV23. Adicional a este punto las instrucciones en la receta carecían de detalle y tomaban en cuenta pocas variables para que el control del proceso fuera el más adecuado.

Bulk material:		XX-XXXXXX-X.XXXX	DISPERSION VIOLET PV23
Operation:	0200		WEIGHING/PESADO
Phase:	0201		Cost weighing
Phase:	0210		*weighing START scanning/Escaneo
Phase:	0220		Components weighing/Pesado
			Assigned components:
	940-1.1764	39.000 KG	L
	940-1.3869	7.000 KG	L
	980-1.4731	6.000 KG	L
	940-8.8507	4.000 KG	L
	9-403965-8.9000	8.000 KG	L
	986-0.0802	1.000 KG	L
Phase:	0230		*weighing END scanning/Escaneo*
Phase:	0290		-Milestone dosing 1
Operation:	0300		PRE-DISPERSION/PRE-MEZCLADO
Phase:	0301		Cost pre-dispersing
Phase:	0310		**pre-dispersion START scan**
Phase:	0320		Pour pigment while mixing/Mezclar
			Assigned components:
	910-8.2909	35.000 KG	L
Phase:	0330		Not exceed 45°C
Phase:	0340		Components pre-dispersion
Phase:	0360		*pre-dispersion END scan*
Phase:	0390		-Milestone Premixing
Operation:	0400		GRINDING/MOLIENDA
Phase:	0401		Cost grinding
Phase:	0410		**grinding START scanning**
Phase:	0420		Give 2 passes through TRM
Phase:	0430		Components grinding
Phase:	0440		Send grinding sample to QC
Phase:	0490		-Milestone Grinding
Operation:	0500		WEIGHING/PESADO FINAL
Phase:	0501		Cost weighing
Phase:	0510		*weighing START scanning/Escaneo
Phase:	0520		Add the next components:
Phase:	0530		Components weighing/Pesado
Phase:	0540		*weighing END scanning/Escaneo*
Phase:	0590		-Milestone dosing 2
Operation:	0600		MIXING/MEZCLADO FINAL
Phase:	0601		Cost mixing
Phase:	0610		**mixing START scanning**
Phase:	0620		Mix the additives perfectly
Phase:	0630		mixing
Phase:	0640		Send final sample to QC
Phase:	0650		**mixing END scanning**
Phase:	0690		-Milestone mixing 2
Operation:	8000		QUALITY INSPECTION
Phase:	8005		**quality Inspection START scan**
Phase:	8010		Integrated quality inspection
Phase:	8020		add if necessary
Phase:	8035		**quality Inspection END scan**
Phase:	3500		Link to packed material
Phase:	8040		-Milestone Quality Inspection

Figura 5.7 Vista en Excel de una orden de proceso de la dispersión Violet PV23

Fuente: SAP System, 2020.

b) Hojas de referencia para la fase de Pre-dispersión

Este documento contiene una tabla con algunas de las dispersiones de la línea flexográfica la cual contenía solamente instrucciones de velocidad, tiempos de mezclado y temperatura máxima del producto al que había que llegar para la etapa de pre-dispersión.

Antes de agregar el siguiente saco de pigmento NO debe existir pigmento pendiente por integrar.						
Id	Material	Descripción de material	RPM's de Mezcladora	Temperatura máxima de producto (C°)	Tiempo de mezclado (minutos)	Instrucciones de manufactura
27	83-100420-4.0000		~60	40	100	Mariposa
19	83-120616-7.0000		1450	45	45	Disco
4	83-300824-5.0000		1200	45	45	Disco
7	83-300825-2.0000		~1250	45	45	Disco
6	83-301063-1.0000		1500	45	45	Disco
20	83-311372-3.0000		~1400	45	45	Disco
5	83-311829-2.0000		1400	40	45	Disco
9	83-501091-0.0000		1400	45	35	Disco
15	83-700634-4.0000		1450	45	45	Disco
14	83-700652-8.0000		1000	30	30	Disco
11	83-801824-1.0000		1450	45	45	Disco
25	83-801824-1.0000		1400	40	45	Disco
13	83-802356-1.0000		1150	45	45	Disco
21	83-802357-1.0000		1200	45	45	Disco
12	83-823404-5.0000		1500	35	60	Disco
23	83-823466-4.0000		~1200	45	45	Disco
10	83-823641-2.0000		1400	45	45	Disco

Figura 5.8 Hoja de datos de condiciones de pre-dispersión para dispersiones de pigmento.

Fuente: Siegwirk México, 2019

Después de esta información obtuvimos que la orden de proceso solo cuenta con información de no exceder la temperatura de 45°C en la etapa de pre-dispersión y para la etapa de molienda menciona que se deben de dar dos pases completos por el molino de tres rodillos.

Por otro lado, la hoja de referencia para la etapa de pre-dispersión menciona que para la pre-dispersión del producto Violet PV23 es necesario mezclar en propela de mariposa a 40 RPM's de velocidad durante 100 minutos y que la temperatura máxima del producto es de 40°C. Esta información se tomó de partida antes de que se fabricará el lote piloto del Gemba.

5.4.4 Hallazgos en la producción de un lote de la dispersión Violet PV23

El lote 41557797 (procesado el 19 de febrero del 2021) fue el que se le hizo el seguimiento durante el proceso de manufactura. La orden de proceso de este lote fue emitida por la cantidad de 400 Kg que es el tamaño de lote estándar con el que se produce esta dispersión.

Durante el seguimiento de este lote, se realizaron diferentes hallazgos que revelaron información importante sobre cada una de las etapas del proceso de fabricación de la dispersión Violet PV23.

- Hallazgo No. 1.- Alguno de los componentes de la fórmula de la dispersión Violet se detectó con un aspecto grumoso o sólido desde la etapa de pesado que se encontraba suspendido sobre el resto de los demás aditivos.

Después de la etapa de la pre-dispersión del lote, se siguieron notando algunos grumos con el mismo aspecto que el material que estaba desde pesado a pesar del trabajo de la propela.

- Hallazgo No. 2.- Durante la etapa de pre-dispersión el operador no agregó el pigmento de la manera adecuada, ya que no daba tiempo a que cada bulto de pigmento se incorporará al vehículo dispersante antes de agregar el siguiente.
- Hallazgo No. 3.- En la etapa de pre-dispersión después de haber agregado el pigmento, se descubrió que al seguir las condiciones encontradas en la documentación anterior no se cumplen, esto debido a que, con la velocidad de propela y el tiempo definido en la hoja de referencia para la pre-dispersión, no son suficientes para llegar a la temperatura mencionada en el mismo documento.
- Hallazgo No. 4.- En la fase de molienda no se encontró información documentada previa sobre la presión a la que se debe de moler la dispersión

Violet PV23. Sin embargo, el operador realizaba los pases de la dispersión en el molino de tres rodillos a una presión de 40 Bar. A pesar de que para el operador estaba clara cuál era la presión a la que se debía moler la dispersión, después de haber dado dos pases completos al lote se realizó la medición el tamaño de partícula y el valor no estaba dentro de las especificaciones de molienda. Ante esta situación se tuvo que dar un tercer pase para cumplir con las especificaciones del producto.

- Hallazgo No. 5.- Se detectó que en la etapa de molienda no existía un plan de cambio de navajas por cada lote, lo cual pudo contribuir a que el lote no llegará al tamaño de partícula esperado.

Los resultados de calidad del lote de la dispersión Violet PV23 obtenidos con las condiciones mencionadas anteriormente fueron los que se muestran en la **Tabla 5**.

Tabla 5 Resultados de la inspección de calidad del lote 41557797

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la Inspección de Calidad	Tolerancia de las especificaciones	Resultados
DE* (color)	0.0 - 1.5	0.4
Concentración del color (%)	97.0 - 103.0	102.73
Viscosidad del reómetro (Pa.s)	50.0 - 200.0	329.61
Tamaño de partícula (μ)	0.0 - 5.0	5

Observamos en la tabla anterior que la viscosidad del lote 41557797 se encuentra fuera de la especificación, por lo que fue necesario realizar un ajuste del 3% de monómero sobre el peso total del lote para poder mejorar el flujo. Los resultados que se obtuvieron después de agregar el ajuste se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6 Resultados de la inspección de calidad del lote 41557797 después del ajuste del 3% de monómero

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la Inspección de Calidad	Tolerancia de las especificaciones	Resultados
DE* (color)	0.0 - 1.5	0.42
Concentración del color (%)	97.0 - 103.0	100.01
Viscosidad del reómetro (Pa.s)	50.0 - 200.0	112.5
Tamaño de partícula (μ)	0.0 - 5.0	5

De lo anterior podemos concluir que fue necesario hacer un ajuste a la fórmula para poder obtener el lote dentro de las especificaciones de calidad, sin embargo, este tipo de ajustes adicionales o de reprocesos no son los mejores ya que como se vio anteriormente afectan en gran medida a muchos otros indicadores.

Lo importante de los hallazgos del Gemba es llegar a comprender que está pasando en el proceso de producción de la dispersión para poder proponer ideas o propuestas que puedan ayudar a mejorar los resultados obtenidos.

5.4.5 Posibles causas del problema y su validación

Tomando en cuenta la información encontrada en el Gemba podemos resumir cada uno de los hallazgos en un diagrama de Ishikawa. En la **Figura 5.9** se puede observar en el cuadro de la derecha cual es el problema particular detectado en la dispersión Violet PV23 y en cada una de las ramas se encuentran cada uno de los hallazgos que se encontraron durante el Gemba y se cuestionaron con ayuda de los 5 porque hasta encontrar una causa raíz a cada uno de los hallazgos.

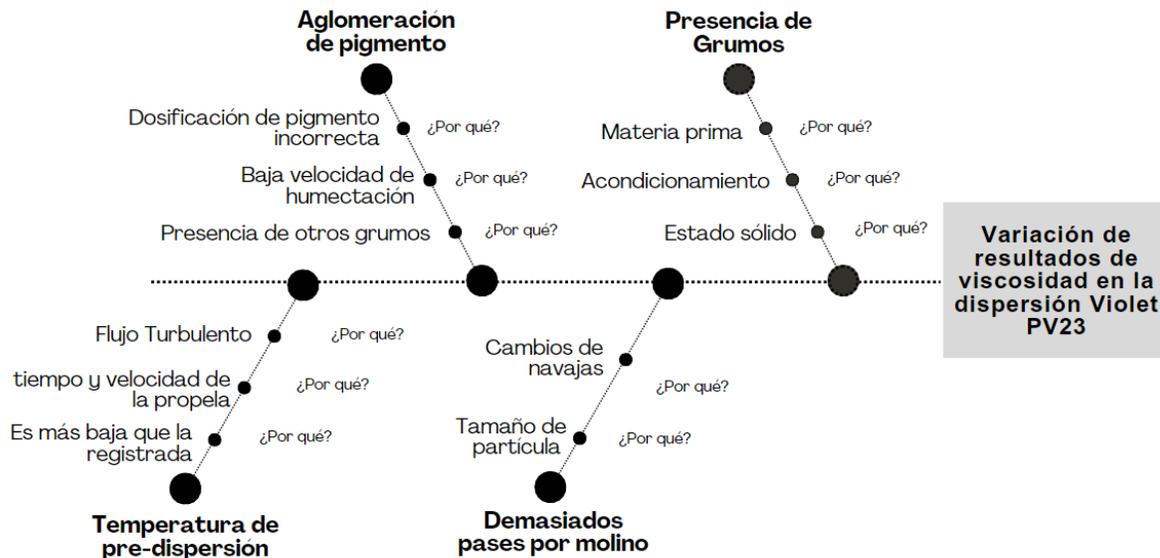


Figura 5.9 Diagrama de Ishikawa para la variación de resultados de viscosidad en la dispersión PV23.

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Las posibles causas que se obtuvieron al final del método de los 5 porque fueron las siguientes:

- **Causa No. 1.-** Revisando cada uno de los componentes iniciales de la fórmula de la dispersión Violet PV23 se detectó que el "Dispersante X" es el único material que se agrega en el área de pesado en estado sólido antes de pasar a la etapa de pre-dispersión. Esta información se obtuvo de la TDS del material (Technical Data Sheet, por sus siglas en inglés) como se muestra en la **Figura 5.10**.

Typical properties	Appearance	waxy solid
	Melting/pour point (°C)	30-35
	Boiling point (°C)	decomposes without boiling >250
	Density (g/cm ³)	0.99
	Gardner Colour	14 max (20% solution in 4:1 xylene: butanol)

Figura 5.10 Datos técnicos del Dispersante X.

Fuente: Siegwark México, 2019

Si el Dispersante X de la formula no se encuentra bien diluido en el vehículo dispersante antes de agregar el pigmento, podría estar afectando directamente su humectación durante la etapa de pre-dispersión. Por lo tanto, si pudiera llegar a afectar la humectación del pigmento generando la alta viscosidad.

- Causa No. 2.- Como se ha revisado previamente durante la pre-dispersión es muy importante no saturar el vehículo dispersante con tanto pigmento ya que esto puede generar que los aglomerados del pigmento sean más difíciles de incorporar, ocasionando que no haya una buena finura en la dispersión.
- Causa No. 3.- La temperatura alcanzada por el lote fue de 29°C, con una velocidad de propela de 40 RPM's durante 100 min. Para poder llegar a los 45°C que especifica la hoja de datos de referencia para la pre-dispersión.

Por otro lado, se encontró que la velocidad máxima a la que puede operar la propela de mariposa es a 120 RPM's.

- Causa No. 4.- La falta de verificación y mantenimiento del molino tricilíndrico puede causar que el equipo no realice la reducción de partícula de la dispersión de forma adecuada. En este caso el cambio de navajas es una parte muy importante que hay que cuidar.

5.4.6 Plan de acción de mejoras rápidas para tener mejores resultados en la dispersión Violet PV23

Las posibles causas encontradas en el apartado anterior se comentaron con el equipo de seguimiento al Gemba y se propusieron las siguientes mejoras rápidas para implementarse en el siguiente lote.

Tabla 7 Mejoras rápidas propuestas por el equipo del Gemba para mejorar el proceso en los siguientes lotes producidos de la dispersión Violet PV23

Fuente: Elaboración propia.

Causa	Mejora Rápida	Fecha de Implementación
Incorporar adecuadamente el Dispersante X	Punto 1. En las instrucciones de la orden de proceso se agregó la indicación de agregar el dispersante a una temperatura de 45°C para que no se solidifique en la pre-dispersión.	23.02.2021
	Punto 2. Se añadió la instrucción de mezclar todos los componentes del vehículo dispersante durante 15 minutos a 60 RPM's antes de agregar el	
Saturación de Pigmento	Colocar en la orden de proceso cual es la manera correcta de dosificar el pigmento. El pigmento se debe de agregar bulto a bulto y se debe de esperar hasta que el bulto anterior se haya integrado por completo al vehículo dispersante.	23.02.2021
Condiciones de Pre-dispersión	Colocar instrucción para que la velocidad de mezclado después de haber agregado todo el pigmento sea a 120 RPM's en la pre-dispersión y detener el mezclado al alcanzar los 45°C de	23.02.2021
Verificación de navajas en el molino de tres rodillos	Establecer un formato de registro de cambio de navajas por cada lote dispersado en el Molino 1.	23.02.2021

5.4.7 Resultados después de la implementación de las mejoras

Después de haber realizado las implementaciones necesarias para realizar lo acordado con el equipo, se dio seguimiento a un nuevo lote teniendo como resultados los reportados en la **Tabla 8**.

Tabla 8 Resultados de la inspección de calidad del lote 41476410

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la Inspección de Calidad	Tolerancia de las especificaciones	Resultados
DE* (color)	0.0 - 1.5	0.75
Concentración del color (%)	97.0 - 103.0	101.58
Viscosidad del reómetro (Pa.s)	50.0 - 200.0	51.08
Tamaño de partícula (μ)	0.0 - 5.0	3

Se puede observar en la **Tabla 8** que se obtuvo una viscosidad mejor a lo que se encontró en el Gemba inicial. Además de que se pudo aprobar el lote sin necesidad de haberle realizado el ajuste como en el lote anterior.

Sumado a esto se realizaron otro tipo de pruebas físicas solo para demostrar la mejora de una forma más visual.

En la **Figura 5.11** se muestra una prueba de flujo la cual consiste en colocar tinta en los aforos de la parte superior de una placa metálica, posteriormente se corta la muestra excedente de los aforos con ayuda de una espátula para que quede todas las muestras quedan al mismo nivel. Finalmente se coloca la placa de manera vertical y se observa el desplazamiento de la tinta por efecto de la gravedad después de 5 minutos. A medida que la tinta tenga un mayor desplazamiento en la placa metálica será la que tenga un mejor flujo respecto a la otra.

Observando el recorrido de la dispersión Violet PV23 del lote que está a la derecha, el cual es el lote que se obtuvo después de las mejoras implementadas y a la izquierda se comparó con el primer lote piloto.



Figura 5.11 Recorrido de los lotes piloto antes y después de la mejora a lo largo de la placa de flujo.

Fuente: Siegwerk México, 2021

5.5 Análisis de la variación en el proceso de manufactura de la dispersión Cyan PB 15:4

5.5.1 Mapeo del proceso de manufactura de la dispersión CYAN PB 15:4

La segunda dispersión en dar el seguimiento del Gemba es la Cyan Pb 15:4, de acuerdo con el análisis de Pareto del **Gráfico 3**.

De igual manera se realizó un recorrido a la planta NW y con y se colocó la información relacionada con el proceso de manufactura de esta dispersión en la **Figura 5.12**.

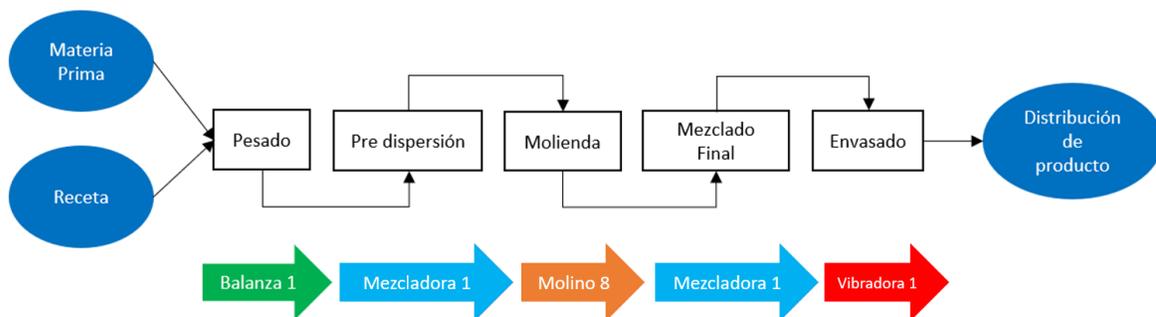


Figura 5.12 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la dispersión Cyan PB 15:4 en la planta NW de Siegwark México.

Fuente: Siegwark México, 2021

5.5.2 Descripción de las etapas involucradas en la elaboración de la dispersión Cyan PB 15:4

Tomando de referencia el caso de la dispersión Violet PV23, las primeras entradas del proceso de manufactura, para la dispersión Cyan PB 15:4 al igual que la Violet PV23, comienza con la evaluación y verificación de las entradas de materia prima que se necesitan para la formulación de la dispersión, así como la generación de la receta de proceso con las condiciones operativas definidas a nivel laboratorio. A diferencia de la dispersión anterior, la Cyan PB 15:4 tiene algunas diferencias importantes que se llevan a cabo para su elaboración.

- a) Pesado de las materias primas: Para empezar el proceso de fabricación se adicionan los componentes de la dispersión en la **Balanza 1** dependiendo del tamaño de lote de la orden de proceso. En esta parte del proceso se deja un porcentaje considerable de monómero pendiente de pesar ya que se usa posteriormente para la limpieza del molino de bolas en la etapa de molienda.
- b) Pre-dispersión: Para la etapa de pre-dispersión es importante considerar que a diferencia de la dispersión Violet PV23, esta dispersión tendrá un cuerpo más fluido debido a la propiedad de absorción de aceite que tiene la dispersión PB 15:4. Esta propiedad se menciona en las TDS de cada pigmento y se refiere a la cantidad de aceite necesaria para humectar 100 gramos de pigmento. El valor de absorción de aceite para la dispersión Cyan PB 15:4 es de 41 ml/100 g por lo que se espera que se trabaja con un flujo menor de dispersión menor en comparación al pigmento usado en la dispersión Violet PV23 el cual es de 78 ml/100 g, por lo que requiere más aceite para humectarse.

Physical Data		
Density	[g/cm ³]	1.49
Form of Supply		powder
Specific surface	[m ² /g]	80
Oil absorption	[ml/100g]	78
Avg. Size of Primary Particles	[nm]	50
Heat Stability	[°C]	160

Figura 5.13 Fragmento de la TDS del pigmento que usa la dispersión Violet PV23

Fuente: Clasificado, 2022

physical data of the pigment			
bulk volume	density (20 °C [68 °F])	oil absorption	specific surface
2.8 l/kg	1.59 g/cm ³	41 g/100 g	49 m ² /g
fastness to solvents			
butanol	cyclohexanone	ethanol	ethyl acetate
3 – 4	3 – 4	3	4 – 5
methylethyl ketone	toluene	water	xylene
4	4 – 5	5	4 – 5

Figura 5.14 Fragmento de la TDS del pigmento que usa la dispersión Cyan PB 15:4

Fuente: Clasificado, 2022

Por lo tanto, para esta dispersión los componentes pesados previamente y el pigmento serán incorporados en la **Mezcladora 1**, la cual tiene una propela de disco con dientes que como se menciona previamente ofrece mayores velocidades de mezclado y tiene una configuración muy diferente respecto al contenedor en comparación a la propela de mariposa. La configuración ideal para esta dispersión puede revisarse en la **Figura 1.8**.

En esta etapa, al igual que la dispersión Violet PV23 es necesario agregar el pigmento poco a poco para evitar formar aglomerados de pigmento adicionales y después de haber integrado todo el pigmento, el contenedor se tapa con ayuda de un plástico para poder realizar el mezclado a alta velocidad y que la dispersión no salpique hacia fuera del contenedor. De esta manera se sigue mezclando hasta incrementar la temperatura para obtener un flujo turbulento, el cual es esencial para terminar de integrar el pigmento correctamente y disminuir la viscosidad de la base.

- c) Molienda: Después de la pre-dispersión, la dispersión Cyan PB 15:4 se introduce en un molino de bolas (**Figura 1.11**) para generar la completa humectación del pigmento y separación de los aglomerados del pigmento. Durante la molienda las variables independientes más importantes a considerar son el control del caudal de suministro de la dispersión a la cámara del molino, el cual es modificado dependiendo de la potencia de la bomba. Otra variable que se necesita definir para operar el molino de bolas es la velocidad del eje o rotor dentro de la cámara de molino (dado en RPM's).

De los parámetros anteriores se obtienen otras variables que son importantes para el proceso y que son dependientes de las anteriores como la presión interna dentro de la cámara del molino, el consumo eléctrico empleado por el molino, la temperatura de salida de producto y el caudal de salida.

A diferencia del molino de tres rodillos el molino de bolas tiene más poder en la Cámara para poder generar fuerzas de cizallamiento, según la información documentada que ya se tenía en la planta solo basta con un pase completo por este molino para obtener el tamaño de partícula esperado para esta dispersión. La finura de la molienda al igual que la dispersión Violet PV23 se mide por medio de un grindometro.

Una vez que la dispersión ha pasado en su totalidad por el molino de bolas, se agrega la cantidad de monómero que fue retenida desde el inicio del proceso y se hace pasar por succión de la bomba por toda la cámara del molino de bolas para limpiar y quitar los excedentes de la dispersión que se hayan quedado en el camino. Después de realizar la limpieza del molino y recuperar el monómero en la dispersión ya molida, el material es llevado a un último mezclado en la **Mezcladora 1** para homogenizar la dispersión y el monómero de la segunda parte de la fórmula.



Figura 5.15 Fragmento de la TDS del pigmento que usa la dispersión Cyan PB 15:4

Fuente: Clasificado, 2022

- c) Mezclado Final: La incorporación final de la parte de monómero se realiza en un tiempo y una velocidad menores a los que se toman para la pre-dispersión par que el producto final este completamente homogéneo. Al finalizar el mezclado de incorporación de monómero se toma una muestra y se pasa al departamento de calidad para ser evaluado.
- d) Inspección de calidad: Para la evaluación de calidad de la dispersión Cyan PB 15:4 se consideran las mismas pruebas de calidad puesto que ambos corresponden a la misma línea de producción.
El color y la concentración son medidos a partir de la preparación de la dilución entre la producción y un estándar. Posteriormente se colocan ambas diluciones en la placa de lectura y se cubren con un cubreobjetos para poder ser medidas por el espectrofotómetro.
Para obtener el flujo de la dispersión se usa el reómetro a las mismas condiciones de la dispersión VIOLET PV23 y si los resultados se encuentran dentro de las especificaciones, la dispersión es aprobada.
- e) Envasado: Para el envasado de esta dispersión, los contenedores se rellenan de una manera más sencilla al ser más fluida la dispersión ya que el producto se vacía por efecto de la gravedad a través de una válvula de vibración para que los contenedores sean llenados de forma rápida y segura.

5.5.3 Documentación de manufactura para la dispersión Cyan PB 15:4

El segundo paso del Gemba fue la revisión de las condiciones de operación reportadas en los mismos documentos mencionados anteriormente en el análisis de la dispersión PV23 ya que se empleaban los mismos documentos para realiza la producción de la dispersión Cyan PB 15:4.

De lo anterior se encontraron los siguientes documentos:

a) Ordenes de Proceso (Tickets)

Después de haber revisado detenidamente la orden de proceso de la dispersión PB 15:4 se encontraron las condiciones se encontraban en el idioma inglés y con poca información relacionada a las condiciones de operación de cada etapa del proceso.

Realmente no se encontró más información relacionada a las condiciones que se utilizaron con anterioridad para la elaboración de la dispersión Cyan PB 15:4, más que el control de la temperatura que no debe exceder más de 50°C.

Bulk material:		XX-XXXXXX-X.XXXX	DISPERSIÓN CYAN PB 15:4
Operation:	0200		WEIGHING/PESADO
Phase:	0201		Cost weighing
Phase:	0210		*weighing START scanning/
Phase:	0220		Components weighing / dosing /
			Assigned components:
	941-3.0309	10.000 KG	L
	940-2.2555	9.300 KG	L
	980-3.6544	1.100 KG	L
	9-404898-0.9000	18.100 KG	L
	980-3.5983	5.500 KG	L
Phase:	0230		**weighing END scanning**
Phase:	0290		-Milestone weighing
Operation:	0300		PRE-DISPERSION
Phase:	0301		Cost feedback pre-dispersing
Phase:	0310		**pre-dispersion START scan /escaneo
Phase:	0320		de inicio**
			Assigned components:
	910-8.3907	48.000 KG	L
Phase:	0330		Pour pigment while mixing
Phase:	0340		Not exceed 50°C
Phase:	0350		Components pre-dispersion
Phase:	0370		**pre-dispersion END scan**
Phase:	0390		-Milestone pre-dispersion 1
Operation:	0400		GRINDING/Molienda
Phase:	0401		Cost feedback grinding
Phase:	0410		**grinding START scanning
Phase:	0420		Use Bead Mill Only
Phase:	0430		MILL UNTIL GET THE CORRECT GRINDING
Phase:	0440		Not exceed 50°C
Phase:	0450		Rinse w/the specified Monomer
Phase:	0460		mark in the recipe
			Assigned components:
	941-3.0309	8.000 KG	L
Phase:	0470		Send sample to QC to check grinding
Phase:	0480		**grinding END scanning**
Phase:	0490		-Milestone Grinding
Operation:	0500		MIXING/MEZCLADO
Phase:	0501		Cost mixing
Phase:	0510		**mixing START scanning**
Phase:	0520		Use slow speed Mixer
Phase:	0530		Max temperature 40°C
Phase:	0540		Send sample to QC to be checked
Phase:	0550		mixing
Phase:	0560		**mixing END scanning**
Phase:	0590		-Milestone mixing 2
Operation:	8000		Link to packed material
Phase:	8300		QUALITY INSPECTION
Phase:	8010		**quality Inspection START scan**
Phase:	8020		Integrated quality inspection
Phase:	8030		add if necessary
Phase:	8040		**quality Inspection END scan**
Phase:	8090		-Milestone Quality Inspection

Figura 5.16 Vista en Excel de una orden de proceso de la dispersión Cyan PB 15:4

Fuente: SAP System, 2020.

b) Hojas de datos para la Pre-dispersión

Este documento, se puede observar previamente en la **Figura 5.8**, de la cual se obtienen que las condiciones en la etapa de pre-dispersión para la PB 15:4 son mezclar en **Mezcladora 1** (propela de disco con dientes) a una velocidad de 1450 RPM's durante 45 minutos, sin rebasar la temperatura de 45°C.

c) Hojas de reporte de variables para la fase de Molienda

En la **Figura 5.17** se puede observar el documento que contiene información relacionada a las variables que se controlan para utilizar el molino de bolas. Aquí se pudo encontrar información más detallada relacionada a esta etapa del proceso en comparación a lo documentado en la orden de proceso.

Fecha: 18.12.2020

SAP-Nr. _____ Batch 41307608 Molino # _____

Muestra	Hora	Presión [bar]	Bomba Velocidad [%]	Rendimiento [kg/h]	Temp producto [°C]	RPM [1/min]	Consumo eléctrico [A or KW]	Tamaño [µm]	Comentarios
Inicial	09:45	1.0	17	90	55	350	8.4	5	
30%								X	
60%								X	
90%								X	
Final									

Tamaño de lote	200.0	÷	Rendimiento inicial	=	X 0.3	Muestra 30%
					X 0.6	Muestra 60%
					X 0.9	Muestra 90%

Comentarios

Figura 5.17 Vista en Excel de una orden de proceso de la dispersión Cyan PB 15:4

Fuente: SAP System, 2020.

En resumen, se obtuvo que los datos reportados sobre las condiciones que se siguieron durante la molienda de la dispersión de un lote fabricado en diciembre del año 2020 de acuerdo con el documento de la **Figura 5.17** son los siguientes:

- La presión interna de la Cámara del molino cuando la dispersión pasó a través de ella fue de 1.0 Bar.
- La capacidad de operación de la bomba empleada para transportar la dispersión desde el contenedor al interior de la cámara del molino fue del 17%.
- El caudal o el rendimiento obtenido a la salida del molino fue de 90 Kg/ h.
- La velocidad de rotor del molino que se utilizó para la molienda y el movimiento de las bolas fue de 350 RPM's.
- La temperatura de salida del lote de la dispersión fue de 55°C.
- El indicador del consumo eléctrico del equipo con las condiciones anteriormente descritas fue de 8.4 KW.
- El tamaño de partícula obtenido a la salida del molino fue de 5 μ de acuerdo con la prueba realizada en el grindometro.

5.5.3 Hallazgos en la producción de un lote de la dispersión Cyan PB 15:4

Se realizó el seguimiento paso a paso por cada una de las etapas del proceso de manufactura de esta dispersión a través del lote 41003725 (procesado el 02 de marzo del 2021). La orden de proceso de este lote fue emitida por la cantidad de 1000 Kg ya que es el tamaño de lote y es uno de los productos más demandados por parte de los clientes.

Durante el seguimiento de este lote, se realizaron diferentes hallazgos:

- Hallazgo No. 1.- Se detectó que en la etapa de pre-dispersión se realizó una incorporación del pigmento inadecuada debido a la posición de la propela de disco con dientes ya que el operador realizó esta actividad dejando la altura de la propela muy arriba de la relación de 1/3 con respecto a la altura del nivel de la dispersión dentro del contenedor. Este hallazgo fue determinado

de esa manera de acuerdo con las dimensiones que se especifican en la **Figura 1.8**.

- Hallazgo No. 2.- En la pre-dispersión se siguieron las condiciones que se habían encontrado reportadas previamente en las hojas de datos.

El rango de velocidad de la propela en la que se estuvo agregando el pigmento fue de 200 RPM's hasta los 800 RPM's.

Después de haber agregado todo el pigmento de la dispersión, se tapó el contenedor y se realizó el mezclado del lote 41003725 a la velocidad de 1450 RPM's durante 45 minutos se ganó energía hasta alcanzar los 60°C, lo cual está por arriba del límite de acuerdo con la orden de proceso.

- Hallazgo No. 3.- La temperatura alcanzada por el lote 41003725 en la salida de la molienda está por arriba de la que se especifica en la orden de proceso. La temperatura que se tomó del instrumento de medición de temperatura que esta acoplado al molino de bolas fue de 57°C.

Los resultados de calidad que fueron obtenidos con las condiciones mencionadas anteriormente para el proceso de producción del lote 41003725, fueron los que se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9 Resultados de la inspección de calidad del lote 41003725

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la Inspección de Calidad	Tolerancia de las especificaciones	Resultados
DE* (color)	0.0 - 1.5	0.63
Concentración del color (%)	97.0 - 103.0	102.7
Viscosidad del reómetro (Pa.s)	1.0 - 3.0	5.34
Tamaño de partícula (μ)	0.0 - 5.0	4

Se observa que el flujo del lote 41003725 se encuentra fuera de la especificación y para poder aprobarlo se realizó un ajuste al lote 41003725 del 1% de monómero sobre su peso total. Con este ajuste se pudo reducir el valor del flujo en la dispersión como se ve en la **Tabla 10**.

Tabla 10 Resultados de la inspección de calidad del lote 41003725 después del ajuste del 1% de monómero

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la Inspección de Calidad	Tolerancia de las especificaciones	Resultados
DE* (color)	0.0 - 1.5	0.43
Concentración del color (%)	97.0 - 103.0	101.16
Viscosidad del reómetro (Pa.s)	1.0 - 3.0	1.82
Tamaño de partícula (μ)	0.0 -5.0	5

Finalmente, el lote se pudo aprobar dentro de especificaciones debido al ajuste de monómero que se añadió al lote. Por otro lado, igual que la dispersión Violet PV23 se analizarán los hallazgos del Gemba más a detalle para poder encontrar las posibles causas de que el valor del flujo sea tan diferente a las especificaciones.

5.5.4 Posibles causas del problema y su validación

Tomando en cuenta los hallazgos del Gemba, en la **Figura 5.18** se puede observar en un diagrama de Ishikawa cada uno de ellos aplicando la metodología de los 5 porque para encontrar las posibles causas que generan que la viscosidad este fuera de especificaciones.

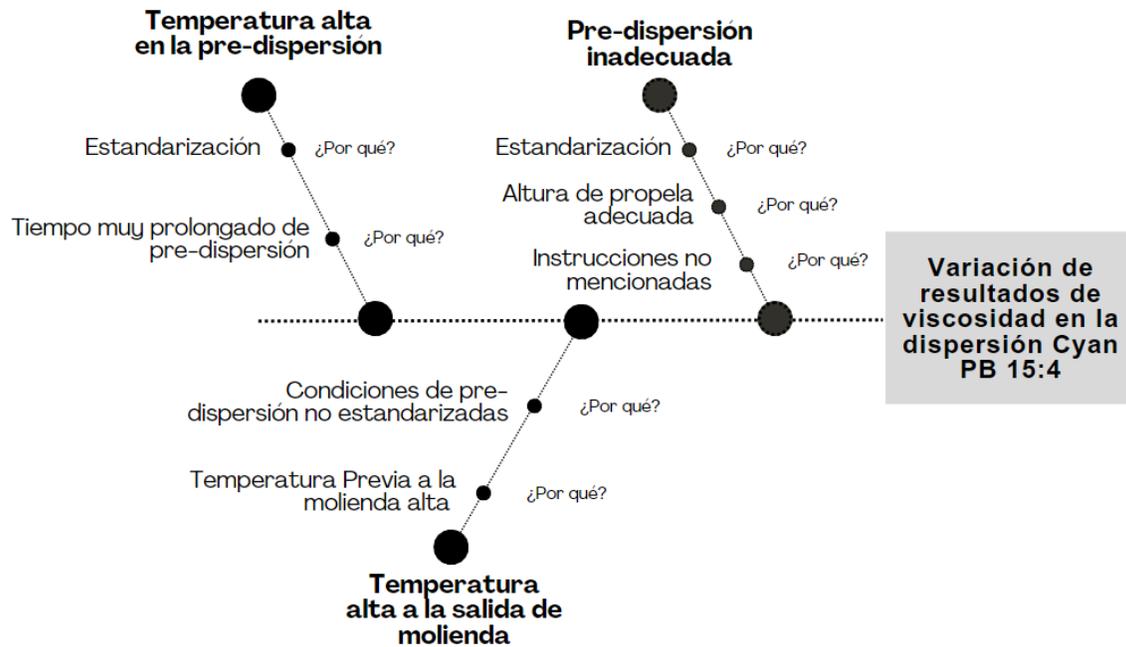


Figura 5.18 Diagrama de Ishikawa para la variación de resultados de viscosidad en la dispersión Cyan PB 15:4.

Fuente: SAP System, 2020.

Las posibles causas que se obtuvieron al final del método de los 5 porque fueron las siguientes:

- **Causa No. 1.-** Las instrucciones sobre la posición adecuada de la propela de disco con dientes no están incluidas en ninguna parte de la documentación revisada previamente al seguimiento del lote 41003725. Tomando en cuenta lo que nos dice la teoría es que la altura a la que debe estar la propela para generar un buen vórtice debe de ser $1/3$ de la altura que existen entre el fondo del contenedor y el nivel de la dispersión tal como se muestra en la **Figura 1.8**.
- **Causa No. 2.-** La temperatura alcanzada en la etapa de pre-dispersión fue de 60°C , si bien es cierto que a medida que aumenta la temperatura se puede obtener una mejor humectación del pigmento y con ello puede disminuir en

gran medida la viscosidad. En caso contrario, demasiada temperatura puede ocasionar que el recubrimiento de las partículas del pigmento se rompa y se pierda el equilibrio que se tiene en el vehículo dispersante, esto puede ocasionar que el pigmento vuelva a aglomerarse dando así lugar a la tixotropía o a el incremento de la viscosidad. En este caso la temperatura máxima que debe de alcanzar el producto en la etapa de pre-dispersión debe de ser menor a 50°C.

- Causa No. 3.- Al igual que en la etapa de pre-dispersión se encontró que la temperatura del lote a la salida del molino fue de 57°C, la cual está por arriba de la temperatura máxima sugerida en la orden de proceso.

Lo que ocurre dentro de la cámara de molino es que el producto gana más energía debido al choque de cizallamiento de las bolas. Sin embargo, el molino de bolas tiene un refrigerante el cual impide que la energía ganada en el proceso de molienda sea mayor. Por ende, la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del molino es de 3°C ya que el producto molido está perdiendo calor considerando la diferencia de temperatura que el lote traía desde la etapa de pre-dispersión, la cual fue de 60°C.

En otras palabras, el hecho de que la temperatura este afectando en la molienda no está relacionada con que la temperatura se eleve aún más en la etapa de molienda si no que la afectación esta desde la etapa de pre-dispersión con la temperatura tan alta que se alcanza en el mezclado.

5.5.5 Plan de acción de mejoras rápidas para tener mejores resultados en la dispersión Cyan PB 15:4

Las posibles causas encontradas en el apartado anterior se comentaron con el equipo de seguimiento al Gemba y se propusieron las siguientes mejoras rápidas para implementarse en el siguiente lote.

Tabla 11 Mejoras rápidas propuestas por el equipo del Gemba para mejorar el proceso en los siguientes lotes producidos de la dispersión Cyan PB 15:4

Fuente: Elaboración propia.

usa	Mejora Rápida	Fecha de Implementación
Temperatura máxima en la etapa de Pre-dispersión	Punto 1. Actualizar la orden de proceso de la dispersión con la velocidad de mezclado que se siguió en el lote de seguimiento. La velocidad de propela en esta etapa fue de 1400 RPM's.	05.03.2021
	Punto 2. Colocar en la orden de proceso que la temperatura final de la pre-dispersión debe de ser igual a 45°C dejando un rango de tolerancia de +/- 5°C.	
Altura de la propela en la etapa de Pre-dispersión.	Colocar una ayuda visual en las mezcladoras de disco de dientes sobre la altura adecuada que debe tomar la propela para realizar un buen trabajo de pre-dispersión de pigmento.	05.03.2021
Condiciones en la etapa de Molienda	Colocar instrucción para que la velocidad de mezclado después de haber agregado todo el pigmento sea a 120 RPM's en la pre-dispersión y detener el mezclado al alcanzar los 45°C de	05.03.2021

Las mejoras fueron implementadas en la orden proceso y también se generó la ayuda visual sobre la posición de la propela de disco para realizar una buena pre-dispersión.

5.5.6 Resultados después de la implementación de las mejoras

Después de haber realizado las implementaciones necesarias para realizar lo acordado con el equipo, se dio seguimiento a un nuevo lote teniendo como resultados los reportados en la **Tabla 12**.

Tabla 12 Resultados de la inspección de calidad del lote 41551698

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la Inspección de Calidad	Tolerancia de las especificaciones	Resultados
DE* (color)	0.0 - 1.5	0.22
Concentración del color (%)	97.0 - 103.0	101.67
Viscosidad del reómetro (Pa.s)	1.0 - 3.0	1.632
Tamaño de partícula (μ)	0.0 -5.0	5

Debido a las acciones de mejora rápida que se realizaron para este lote, se pudo obtener un producto dentro de especificaciones y también se definieron de una mejor manera las condiciones de operación en la etapa de pre-dispersión la cual fue la que se encontró con más área de oportunidad.

5.6 Análisis de la variación en el proceso de manufactura de la dispersión Black PBK 7

5.6.1 Mapeo del proceso de manufactura de la dispersión Black PBK 7

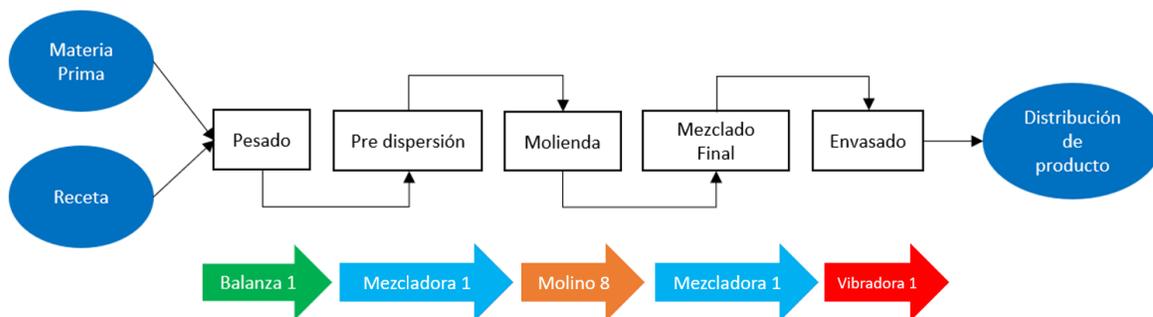


Figura 5.19 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la dispersión Black PBK 7 en la planta NW de Siegwark México.

Fuente: Siegwark México, 2021

Para la dispersión Black PBK 7 se ocupa el mismo proceso que la Cyan PB 15:4, ya que, al ser ambas dispersiones pertenecientes al perfil reológico más bajo dentro de la línea de las dispersiones de pigmento, pasan por la etapa de pre-dispersión por la **Mezcladora 1** que es una propela de disco con dientes y el **Molino 8** el cual es el mismo molino de bolas.

5.6.2 Descripción de las etapas involucradas en la elaboración de la dispersión Black PBK 7

De acuerdo con el mapa de proceso, después de tener una orden de proceso que se gestiona por medio del departamento de planeación, se tienen todos los recursos necesarios para empezar el proceso de manufactura. Para la dispersión PBK 7, las etapas involucradas son:

- a) Pesado de las materias primas: En esta parte del proceso de fabricación se adicionan los componentes de la dispersión en la **Balanza 1**. En esta parte al igual que la dispersión Cyan PB 15:4, se deja un porcentaje considerable de monómero pendiente de pesar para la limpieza del molino de bolas en la etapa de molienda.
- b) Pre-dispersión: Como con la dispersión Cyan PB 15:4, en esta etapa del proceso, los componentes pesados previamente y el pigmento serán incorporados en la **Mezcladora 1**, la cual tiene una propela de disco con dientes.

Después de agregar el pigmento bulto por bulto, la propela debe colocarse en posición de la configuración ideal para realizar la pre-dispersión, puede observar esta configuración en la **Figura 1.8**.

Después de haber integrado todo el pigmento, el contenedor se tapa con ayuda de un plástico para poder realizar el mezclado a alta velocidad y que la dispersión no salpique hacia fuera del contenedor.

La etapa de pre-dispersión concluye una vez que se haya alcanzado la temperatura adecuada.

- c) Molienda: Después de la pre-dispersión, la dispersión Cyan PB 15:4 se introduce en un molino de bolas (**Molino 8**), cuyo diagrama se puede apreciar

en la **Figura 1.11**. En este equipo se genera el tamaño de partícula deseado debido a las fuerzas de cizalla del choque de las bolas con la dispersión que ocurre dentro de la cámara del molino.

Una vez que la dispersión ha pasado en su totalidad por el molino de bolas, se agrega la cantidad de monómero que fue retenida desde el inicio del proceso y se hace pasar por succión de la bomba por toda la cámara del molino de bolas para limpiar y quitar los excedentes de la dispersión que se hayan quedado en el equipo. Después de realizar la limpieza del molino y recuperar el monómero en la dispersión ya molida, el material es llevado a un último mezclado en la **Mezcladora 1** para homogeneizar la dispersión y el monómero de la segunda parte de la fórmula.

- d) Mezclado Final: La incorporación final de la parte de monómero se realiza en un tiempo y una velocidad menores a los que se toman para la pre-dispersión para que el producto final este completamente homogéneo.
- e) Inspección de calidad: Después del mezclado final se toma una muestra de la dispersión para llevarla a calidad y se realicen las pruebas de inspección correspondientes.

Como se ha revisado anteriormente el color y concentración se realizarán por medio de una dilución y se medirán con ayuda del espectrofotómetro, la viscosidad de la tinta se medirá con ayuda del reómetro y el tamaño de partícula mediante un grindometro para completar la inspección de calidad y si los resultados están dentro de especificaciones aprobar la dispersión.

- f) Envasado: Para el envasado de esta dispersión, los contenedores se rellenan de una manera más sencilla al ser más fluida la dispersión ya que el producto se vacía por efecto de la gravedad a través de una válvula de vibración para que los contenedores sean llenados de forma rápida y segura.

5.6.3 Documentación de manufactura para la dispersión Black PBK 7

Se revisaron los documentos disponibles en planta para recabar información sobre las condiciones que ya estaban existentes antes de la realización del Gemba al igual que se hizo en las dispersiones anteriores.

De lo anterior se encontraron los siguientes hallazgos:

a) Ordenes de Proceso (Tickets)

La orden de proceso de la dispersión Black PBK 7 al igual que las otras están redactadas en el idioma inglés y contiene la misma información que la **Figura 5.16**. No se encontró más información relacionada a las condiciones que se utilizaron con anterioridad para la elaboración de la dispersión, sin embargo, se menciona que la temperatura no debe exceder más de 50°C.

b) Hojas de datos para la Pre-dispersión

Este documento, se puede observar previamente en la **Figura 5.8**. De las hojas obtuvimos que las condiciones en la etapa de pre-dispersión para la PBK 7 son mezclar en **Mezcladora 1** (propela de disco con dientes) a una velocidad de 1450 RPM's durante 45 minutos, sin rebasar la temperatura de 45°C.

c) Hojas de reporte de variables para la fase de Molienda

Los datos reportados de las condiciones que se tenían en las hojas de molienda fueron los siguientes:

- La presión interna de la Cámara del molino cuando la dispersión pasó a través de ella fue de 1.3 Bar.

- La capacidad de operación de la bomba empleada para transportar la dispersión desde el contenedor al interior de la cámara del molino fue del 40%.
- El caudal o el rendimiento obtenido a la salida del molino fue de 110 Kg/ h.
- La velocidad de rotor del molino que se utilizó para la molienda y el movimiento de las bolas fue de 350 RPM's.
- La temperatura de salida del lote de la dispersión fue de 52°C.
- El indicador del consumo eléctrico del equipo con las condiciones anteriormente descritas fue de 9.2 KW.
- El tamaño de partícula obtenido a la salida del molino fue de 5 μ de acuerdo con la prueba realizada en el grindometro.

En resumen, para la etapa de pre-dispersión después de agregar el pigmento del PBK 7 se debe elevar la velocidad de la propela hasta una velocidad de 1450 RPM's durante 45 minutos y en la etapa de molienda se debe de dar 1 pase por el molino de bolas con la alimentación de la bomba al 40%, la velocidad de rotor a 350 RPM's y una presión de 1.3 Bar. Con estas condiciones mencionadas se procedió a fabricar un lote de prueba para analizar los resultados obtenidos.

5.6.4 Hallazgos en la producción de un lote de la dispersión Black PBK 7

Se realizó el seguimiento en cada una de las etapas del proceso de manufactura para el lote 41646539 (procesado el 06 de marzo del 2021).

Cabe mencionar que la orden de proceso de este lote fue emitida por la cantidad de 1000 kg.

Durante el seguimiento de este lote, se realizaron diferentes hallazgos:

- Hallazgo No. 1.- Se detectó que en la etapa de pre-dispersión al igual que en la dispersión Cyan PB 15:4 no se encontraba clara la instrucción de cómo debía de ser una buena incorporación del pigmento y la posición en la que debe estar la propela para realizar el proceso pues el operador mantenía la

propela ligeramente abajo del nivel alcanzado por la dispersión y no estaba a la altura adecuada.

- Hallazgo No. 2.- En la pre-dispersión se siguieron las condiciones que se habían encontrado reportadas previamente en las hojas de datos.

El rango de velocidad de la propela para la adición del pigmento bulto por bulto fue de 200 RPM's hasta los 800 RPM's al igual que los operadores agregan el pigmento de la Cyan PB 15:4.

Después de haber agregado todo el pigmento de la dispersión, se tapó el contenedor y se realizó el mezclado del lote a la velocidad de 1450 RPM's durante 45 minutos. Con estas condiciones en la pre-dispersión se consiguió llevar el lote a una temperatura de 57°C, lo cual está por arriba del límite de acuerdo con la orden de proceso.

- Hallazgo No. 3.- La temperatura alcanzada por el lote en la salida de la molienda fue de 52°C, la cual está ligeramente por arriba de la que se especifica en la orden de proceso, la cual es una temperatura de 50°C.

Los resultados de calidad que fueron obtenidos con las condiciones mencionadas anteriormente para el proceso de producción del lote 41646539, fueron los que se muestran en la **Tabla 13**.

Tabla 13 Resultados de la inspección de calidad del lote 41646539

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la Inspección de Calidad	Tolerancia de las especificaciones	Resultados
DE* (color)	0.0 - 1.5	0.81
Concentración del color (%)	97.0 - 103.0	102.4
Viscosidad del reómetro (Pa.s)	1.0 - 3.0	6.39
Tamaño de partícula (μ)	0.0 - 5.0	5

Se observa que el flujo del lote 41646539 se encuentra fuera de la especificación y para poder aprobarlo se realizó un ajuste del 1.5% de monómero sobre su peso total. Con este ajuste se pudo reducir el valor del flujo en la dispersión como se ve en la **Tabla 14**.

Tabla 14 Resultados de la inspección de calidad del lote 41646539 después del ajuste del 1.5% de monómero

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la Inspección de Calidad	Tolerancia de las especificaciones	Resultados
DE* (color)	0.0 - 1.5	0.54
Concentración del color (%)	97.0 - 103.0	101.16
Viscosidad del reómetro (Pa.s)	1.0 - 3.0	1.55
Tamaño de partícula (μ)	0.0 - 5.0	4

Finalmente, el lote se pudo aprobar dentro de especificaciones debido al ajuste de monómero que se añadió al lote.

5.6.5 Posibles causas del problema y su validación

Tomando en cuenta los hallazgos del Gemba anterior, en la **Figura 5.20** se puede observar en un diagrama de Ishikawa cada uno de ellos aplicando la metodología de los 5 porque para encontrar las posibles causas que generan que la viscosidad este fuera de especificaciones.

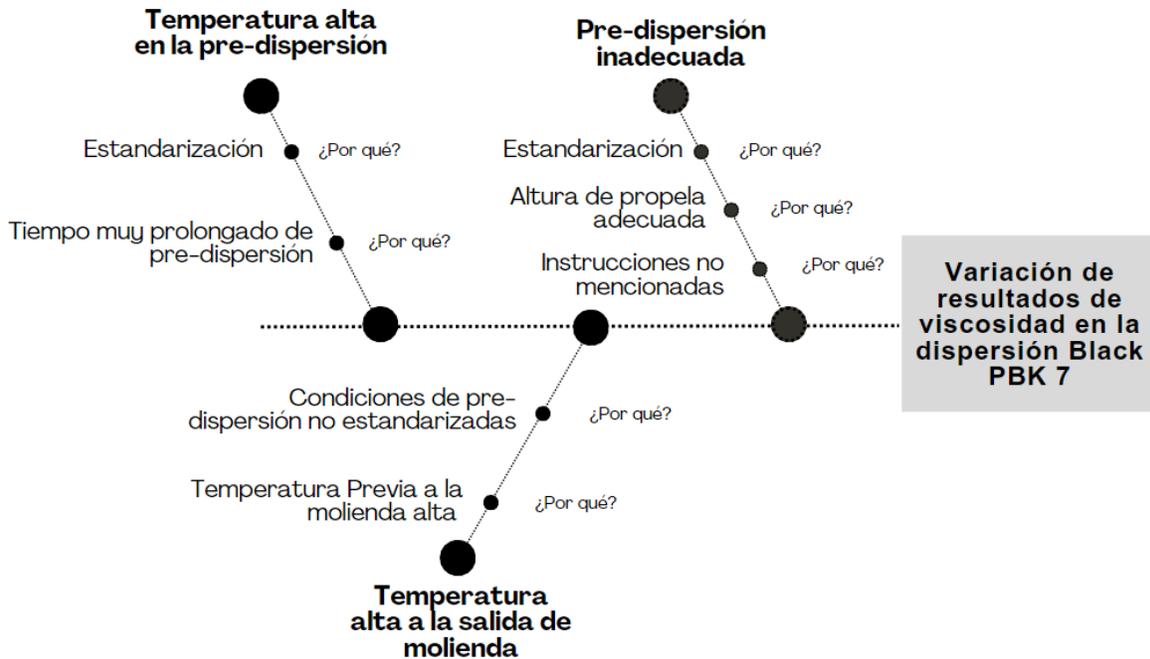


Figura 5.20 Diagrama de Ishikawa para la variación de resultados de viscosidad en la dispersión Black PBK 7.

Fuente: SAP System, 2020.

Las posibles causas que se obtuvieron al final del método de los 5 porque fueron las siguientes:

- **Causa No. 1.-** Las instrucciones sobre la posición adecuada de la propela de disco con dientes no estaban incluidas en ninguna parte de los documentos revisados previamente a la producción del lote que se dio seguimiento. Como se observó en los resultados de la dispersión Cyan PB 15:4 es muy importante la posición de la propela para la generación de un flujo turbulento y un vórtice bueno para homogenizar correctamente el pigmento en el vehículo dispersante.
- **Causa No. 2.-** La temperatura alcanzada en la etapa de pre-dispersión fue de 57°C, la cual está 7°C por encima de la permitida de acuerdo con los documentos revisados en la planta previamente. La temperatura alta puede ocasionar que el pigmento se vuelva a aglomerar en la mezcla.

- **Causa No. 3.-** Se encontró que la temperatura del lote a la salida del molino fue de 52°C, la cual está por arriba de la temperatura máxima sugerida en la orden de proceso. Aunque el lote ya traía una temperatura alta desde la pre-dispersión también en la etapa de molienda puede llegar a afectar en el comportamiento de la viscosidad final de la dispersión.

5.6.6 Plan de acción de mejoras rápidas para tener mejores resultados en la dispersión Black PBK 7

Las posibles causas encontradas en el apartado anterior se comentaron con el equipo de seguimiento al Gemba y se propusieron las siguientes mejoras rápidas para implementarse en el siguiente lote.

Tabla 15 Mejoras rápidas propuestas por el equipo del Gemba para mejorar el proceso en los siguientes lotes producidos de la dispersión Black PBK 7

Fuente: Elaboración propia.

usa	Mejora Rápida	Fecha de Implementación
Temperatura máxima en la etapa de Pre-dispersión	Punto 1. Actualizar la orden de proceso de la dispersión con la velocidad de mezclado que se siguió en el lote de seguimiento. La velocidad de propela en esta etapa fue de 1400 RPM's.	05.03.2021
	Punto 2. Colocar en la orden de proceso que la temperatura final de la pre-dispersión debe de ser igual a 45°C dejando un rango de tolerancia de +/- 5°C.	
Altura de la propela en la etapa de Pre-dispersión.	Colocar una ayuda visual en las mezcladoras de disco de dientes sobre la altura adecuada que debe tomar la propela para realizar un buen trabajo de pre-dispersión de pigmento.	05.03.2021
Condiciones en la etapa de Molienda	Colocar instrucción para que la velocidad de mezclado después de haber agregado todo el pigmento sea a 120 RPM's en la pre-dispersión y detener el mezclado al alcanzar los 45°C de	05.03.2021

Las mejoras fueron implementadas en la orden proceso y también se generó la ayuda visual sobre la posición de la propela de disco para realizar una buena pre-dispersión.

5.6.7 Resultados después de la implementación de las mejoras

Después de haber realizado las implementaciones necesarias para realizar lo acordado con el equipo, se dio seguimiento a un nuevo lote teniendo como resultados los reportados en la **Tabla 16**.

Tabla 16 Resultados de la inspección de calidad del lote 41551698

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la Inspección de Calidad	Tolerancia de las especificaciones	Resultados
DE* (color)	0.0 - 1.5	0.21
Concentración del color (%)	97.0 - 103.0	100.41
Viscosidad del reómetro (Pa.s)	1.0 - 3.0	2.314
Tamaño de partícula (μ)	0.0 -5.0	5

Debido a las acciones de mejora rápida que se realizaron para este lote, se pudo obtener un producto dentro de especificaciones y tener confianza sobre los hallazgos encontrados y trabajados en este y en los otros casos.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

6.1 Discusión de resultados

En base a los resultados obtenidos en el análisis de cada uno de los procesos de manufactura de las dispersiones de pigmento objetivo producidas en la planta de Siegwark México, se observó que para encontrar la causa raíz de una desviación no siempre es necesario recalcular variables o realizar modificaciones al mismo proceso para llegar a un resultado dentro de lo establecido. Por esta razón es muy importante establecer desde el diseño de desarrollo de nuevos productos un estándar operacional que contenga pasos detallados sobre las condiciones óptimas que se deben seguir en cada etapa de la producción de los productos con la finalidad de comprobar en cada una de ellas que los resultados que se van obteniendo sean los correctos y que cumplan con la calidad adecuada.

En el análisis realizado a los procesos de producción de las dispersiones Violet PV23, Cyan PB 15:4 y Black PBK 7 se pudo concluir que originalmente no existía un método estandarizado que pudiera servir de apoyo a los operadores para la continua repetitividad de la calidad de los lotes producidos de cada uno de estos productos. En consecuencia desde el desarrollo de estas tres dispersiones se habían obtenido resultados muy variados en su mayoría respecto a la propiedad de viscosidad que es muy importante para este tipo de productos semielaborados que como se ha comentado en el inicio de este trabajo es necesario tener dispersiones con buena calidad para que las tintas flexográficas (producto terminado que emplea el uso de dispersiones para su formulación) puedan tener el desempeño deseado por los clientes en la prensa a la hora de realizar impresiones.

El Gemba y las herramientas de calidad para el análisis de las tres dispersiones nos ayudaron a entender cómo se realizaba el proceso de producción de estos productos previo a realizar cualquier modificación o implementación, parte de la metodología Keizen promueve este pensamiento para la detección de errores y posteriormente su mejora continua hacía el objetivo esperado en cada uno de los procesos.

Podemos concluir que las variables críticas encontradas que en cada uno de los casos fueron determinantes para obtener una viscosidad dentro de las especificaciones de calidad fueron las siguientes:

- 1. Pre-dispersión:** Esta etapa de proceso es la primera etapa crítica dentro del proceso de fabricación de dispersiones de pigmento y las variables críticas que pueden suponerse sensibles en esta etapa son:
 - a. Homogenización del vehículo dispersante:** Los materiales que componen el vehículo principalmente los monómeros y el dispersante deben de ir completamente homogéneos en la mezcla previa a la dosificación del pigmento. Una buena mezcla de los vehículos dispersantes garantizara una mejor humectación del pigmento.

- b. Incorporación del pigmento:** Los pigmentos normalmente vienen en sacos, dentro de ellos hay una gran cantidad de aglomerados de pigmento que en ocasiones es muy difícil deshacer dependiendo del color del pigmento. Sin embargo, una vez que está mezclado el vehículo dispersante el pigmento debe agregarse lentamente de manera que no se llegue a saturar la superficie del vehículo y pueda seguir integrando el pigmento en la mezcla.
- c. Vórtice o vortex adecuado:** El diámetro de la propela de disco debe de guardar una relación de 1/3 respecto al diámetro del contenedor y debe de mantenerse a 1/3 de la altura del fondo del contenedor hasta el nivel del producto.

La propela de mariposa debe de cubrir la mayor parte del diámetro interno del contenedor, ya que al usarse para dispersiones con mayor viscosidad necesita mover los aglomerados que pudieran agruparse en la orilla del contenedor en donde se va a mezclar el pigmento.

- d. Velocidad de mezclado:** Dependiendo de la capacidad del motor de la mezcladora, la velocidad idónea para realizar la pre-dispersión es la máxima permitida por la mezcladora ya que a mayor fuerza de cizallamiento mayor será la ruptura de los aglomerados del pigmento de la dispersión. Para el ejemplo de las dispersiones se estandarizo una velocidad de 1400 RPM's para las dispersiones que van en propela de disco dentado y 120 RPM's para la propela de mariposa.
- e. Temperatura final de pre-dispersión:** A medida que va aumentando la temperatura, el flujo va experimentando un cambio de laminar a turbulento por lo que la ganancia de energía del esfuerzo cortante de la propela va haciendo que el pigmento se vaya separando hasta ser más estable junto con los demás componentes, esto favorece a la baja viscosidad. Se debe tener mucho cuidado con exceder la temperatura ya que para las dispersiones si se llega a exceder de 50°C de

temperatura de pre-dispersión se pueden llegar a alterar las propiedades reológicas de la dispersión.

- 2. Molienda:** La etapa de molienda es la segunda etapa más crítica del proceso y es donde la dispersión pasa por el trabajo de cizalla final para que obtengamos una buena calidad.

Existen dos equipos que se utilizan para la molienda de las dispersiones, dependiendo de su perfil reológico se usará según sea el caso.

- a. Molino de Bolas:** Este tipo de molino se opera cuando se tienen dispersiones con muy baja viscosidad, principalmente por el uso de la bomba ya que al ser esta de poca potencia le será muy difícil llevar hasta la cámara productos que sean de tipo pasta.

Se ha observado que este tipo de molinos son muy eficientes ya que tienen mucho poder de cizallamiento debido al choque de las bolas de circonio. En comparación al molino de tres rodillos solo necesita 1 pase para poder generar tamaños de partícula por debajo de 5μ .

Analizando la información obtenida del Gemba podemos concluir que las variables a controlar dentro de la operación del molino son:

- **Velocidad de bomba:** De acuerdo con el display del equipo la velocidad con que la bomba lleva el producto hasta la cámara de molino está indicado en porcentaje. Es una variable que a pesar de no haberse modificado en este análisis podría ayudarnos en un futuro a realizar más pruebas con la finalidad de aprovechar más el proceso ya que para las dos dispersiones que se molieron en este equipo se utilizó menos del 50% de su capacidad.
- **Presión Interna de la cámara:** Aunque esta es más una variable independiente del suministro de la bomba, si puede ser

controlada ya que si se tiene un fuerte suministro de una dispersión muy viscosa puede llegar a ocasionar un colapso en el equipo si la cámara llegara a taparse.

- **Velocidad de rotor:** Por último, la velocidad de rotor es muy importante para el proceso ya que marca la frecuencia o el ritmo que llevaran el choque de las bolas de circonio internamente con la dispersión conforme vaya pasando a través de la cámara del molino.

b. Molino de tres rodillos: Este molino es usado para dispersiones más viscosas debido a su sistema que es capaz de movilizar dispersiones tipo pasta.

Este tipo de molino de acuerdo con el listado de las demás dispersiones es poco usado y normalmente representa mayor tiempo de molienda, siendo este un poco menos eficiente comparado con el molino de bolas.

Sin embargo, las variables que se deben controlar para las dispersiones que se muelen en este equipo son:

- **Presión entre los rodillos:** La presión máxima del molino de tres rodillos que se encuentra en la planta NW México es de 40 Bar y en el estudio que se realizó encontramos que a medida que se aumenta la presión de los rodillos es más fácil obtener con menor número de pases el tamaño de partícula deseado.
- **Definir número de pases:** Es muy importante mantener monitoreado cada pase de la dispersión a través de la medición del tamaño de partícula por cada pase ya que si se llega a dejar una dispersión con molienda abajo del cero puede ocasionar el mismo efecto que la temperatura en la etapa de pre-dispersión, es decir que se puede afectar el equilibrio de las partículas de

pigmento en el medio dispersante por el rompimiento de su recubrimiento generando nuevamente el aglomeramiento.

- **Verificación de navajas:** Esta es la última parte de cada pasa de molienda y aunque la dispersión ya lleva un trabajo de trabajo de cizallamiento en los tres rodillos previos a la navaja, esta es muy importante como acabado final de la dispersión de pigmento.

Como último resultado después de haber definido las condiciones críticas que permitieron mejorar el control del proceso de fabricación de las dispersiones evaluadas, se realizó un formato generado por el área de desarrollo de nuevos productos que lleva por nombre "Hoja de Liberación de Proceso de Nuevos Productos", el cual pretende dar a conocer al área operativa las variables que hay cuidar a detalle en cada una de las etapas del proceso de manufactura de las dispersiones con la finalidad de seguir manteniendo los resultados obtenidos en el seguimiento de los lotes piloto y poder obtener un mejor indicador de FTG para el año 2021. Las hojas de liberación de proceso pertenecientes a cada una de las dispersiones se pueden observar en la parte de anexos.

Para concluir la muestra de las tres dispersiones fueron una parte importante del problema en general del FTG, y los resultados obtenidos fueron satisfactorios y el caso de éxito puede reproducirse a los demás productos con la finalidad de mejorar el estado actual del indicador de desarrollo.

6.2 Conclusiones

- El arte de las tintas es un tema complejo que requiere conocer no solamente la química de los materiales que las componen si no también diferentes conceptos técnicos sobre color.
- El uso de las 7 herramientas de la calidad es una metodología muy importante para la detección de áreas de oportunidad y resolución de problemas.
- La parte más importante del Gemba es acudir al lugar de los hechos que se refiere a estar presente cuando haya señales de alguna desviación para detectar adecuadamente una desviación, la cual debe de ser medible y debe de contener límites establecidos, los cuales fijen los rangos de la desviación.
- Se puede atacar un problema de una manera más simple partiendo de lo general a lo particular ya que si se hace una adecuada estratificación, el esfuerzo resulta mínimo y puede generar un mayor impacto.
- La estandarización de todo proceso es la parte final de cualquier nuevo desarrollo ya que todo procedimiento debe documentarse para que pueda ser reproducible en futuros eventos.

ANEXOS

HOJA TÉCNICA: LIBERACIÓN DE PROCESO



Fecha de emisión: 12 de Mayo del 2021

Descripción de producto

Nombre de Producto: DISPERSIÓN VIOLET PV23

Fórmula:

No. de Componente	Código Global	Código SAP	Descripción	% (Sistema SAP)
1	W6185	-	-	35.8
2	W6440	-	-	6.44
3	W9037	-	-	1.0
4	W6031	-	-	3.68
5	W6535	-	-	6.8
6	M9070	-	-	7.08
7	T1053	-	-	32.2
8	W6535	-	-	7.0
Total				100

Nota: Asegurarse que el componente No. 6 este en caja caliente a 45°C antes de usarse y con un cuerpo fluido.

Desarrollo:

No.	Etapas Proceso	Operación	Condiciones	
1	Pesado de aditivos	Agregar los barnices del producto en el cazo (Componentes del 1 al 5 de la fórmula)	NA	
2	Pre-dispersión en propela de mariposa	Agregar componente 6 antes de agregar pigmento	El material debe encontrarse en estado líquido entre 40 y 50°C de temperatura	
		Mezclado de Aditivos ¹	rpm	60
		Agregado de pigmento ²	Tiempo (min)	15
		Mezclado a alta velocidad	rpm	60
3	Dispersión	Reposo ³	rpm	120
			T (°C)	50
		Procesar tinta por Molino de Tres Rodillos (TRM)	Tiempo (min)	15
4	Mezclado en propela de mariposa	Homogenizar diluyentes de segunda parte (Componentes 8 y 9)	T (°C)	40-45
			No. de pases	2
5	Envasado	Colocar la tinta en el contenedor según PO	Presión (Bar)	40
			rpm	120
			T (°C)	50
			NA	

Nota: Considerar los siguientes puntos para la fabricación de este producto:

¹Importante que los primeros componentes estén homogéneos en la mezcla.

²Agregar bulto por bulto de pigmento hasta haberse consumido el bulto anterior.

³Es importante que el proceso de este producto se realice de forma continua sin tiempos largos de reposo.

HOJA TÉCNICA: LIBERACIÓN DE PROCESO



Fecha de emisión: 12 de Mayo del 2021

Descripción de producto

Nombre de Producto: DISPERSIÓN CYAN PB 15:4

Fórmula:

No. de Componente	Código Global	Código SAP	Descripción	% (Sistema SAP)
1	W6135	-	-	9.5
2	W6535	-	-	9.3
3	W9037	-	-	1.1
4	W6454	-	-	18.1
5	M9236	-	-	3.0
6	M9372	-	-	3.0
7	B1217	-	-	48.0
8	W6135	-	-	8.0
Total				100

Desarrollo:

No.	Etapas Proceso	Operación	Condiciones	
1	Pesado de aditivos	Agregar los barnices del producto en el cazo (Componentes del 1 al 6 de la fórmula)	NA	
2	Pre-dispersión en propela de Disco	Mezclado de Aditivos ¹	rpm	300-400
			Tiempo (min)	15
		Mezclado a alta velocidad	rpm	200-900
			T (°C)	45
3	Dispersión	Reposo ³	Tiempo (min)	10
			T(°C)	40
		Procesar tinta por Molino de Perlas ⁴	Velocidad de bomba (%)	17
			Velocidad de rotor (rpm)	350
			Presión (Bar)	1.0
4	Mezclado en propela de disco	Homogenizar diluyente de lavado	Tiempo (min)	15
			rpm	1400
5	Envasado	Colocar la tinta en el contenedor según PO	NA	

Nota: Considerar los siguientes puntos para la fabricación de este producto:

¹Importante que los primeros componentes estén homogéneos en la mezcla.

²Agregar bulto por bulto de pigmento hasta haberse consumido el bulto anterior.

³Es importante que el proceso de este producto se realice de forma continua sin tiempos largos de reposo.

HOJA TÉCNICA: LIBERACIÓN DE PROCESO



Fecha de emisión: 12 de Mayo del 2021

Descripción de producto

Nombre de Producto: DISPERSIÓN BLACK PBK 7

Fórmula:

No. de Componente	Código Global	Código SAP	Descripción	% (Sistema SAP)
1	W6135	-	-	14.22
2	W6535	-	-	7.0
3	-	-	-	1.0
4	W6454	-	-	15.57
5	M9236	-	-	5.0
6	N1224	-	-	47.17
7	W6535	-	-	6.34
8	W6135	-	-	3.7
Total				100

Desarrollo:

No.	Etapas Proceso	Operación	Condiciones	
1	Pesado de aditivos	Agregar los barnices del producto en el cazo (Componentes del 1 al 5 de la fórmula)	NA	
2	Predispersión en propela de Disco	Mezclado de Aditivos ¹	rpm	300-400
			Tiempo (min)	15
		Agregado de pigmento ²	rpm	200-900
3	Dispersión	Mezclado a alta velocidad	rpm	1400
			T (°C)	45
		Reposo ³	Tiempo (min)	10
			T(°C)	40
4	Mezclado en propela de disco	Homogenizar diluyente de lavado	Velocidad de bomba (%)	40
			Velocidad de rotor (rpm)	350
			Presión (Bar)	1.3
5	Envasado	Colocar la tinta en el contenedor según PO	Tiempo (min)	15
			rpm	1400
			NA	

Nota: Considerar los siguientes puntos para la fabricación de este producto:

¹Importante que los primeros componentes estén homogéneos en la mezcla.

²Agregar bulto por bulto de pigmento hasta haberse consumido el bulto anterior.

³Es importante que el proceso de este producto se realice de forma continua sin tiempos largos de reposo.

REFERENCIAS

1. Arce, O. T. (n.d.). Dismapp - La flexografía. Recuperado 1 de febrero de 2023, de <http://www.dismapp.com.mx/12-boletin/32-laflexografia>
2. Rodillos anilox para necesidades especiales | Zecher GmbH. (2022, November 11). Recuperado 1 de febrero de 2023, de <https://www.zecher.com/es/rodillos-anilox/>
3. Turca, M. E. (2017). Sistema de impresión flexográfico. Recuperado 1 de febrero de 2023, de [Trabajo escrito]: <http://www.catedratecno1.com.ar/apuntes/Flexografia2017.pdf>
4. Admin, & Admin. (2023, April 21). The Basics of flexo ink chemistries, manufacturing & On-Press Maintenance - Zeller + Gmelin. Zeller + Gmelin - Colorear el mundo de hoy con la tecnología del mañana. Recuperado 16 de febrero de 2023, de <https://www2.zeller-gmelin.us/the-basics-of-flexo-ink-chemistries-manufacturing-on-press-maintenance/?lang=es>
5. Antala. (2023, June 28). ¿Qué es la tecnología de curado UV y cómo funciona? Antala Industria. Recuperado 16 de febrero de 2023, de <https://www.antala.es/que-es-la-tecnologia-de-curado-uv-y-como-funciona/>
6. Qurtech SA. (2020, May 10). Tecnología UV - QuRTech. Qurtech. Recuperado 19 de febrero de 2023, de <https://www.qurtech.com/es/tecnologia-uv-2/#:~:text=La%20polimerizaci%C3%B3n%20UV%20es,l%C3%ADquido%20al%20s%C3%B3lido%20sea%20instant%C3%A1nea.>
7. Gonzalez, L. (n.d.). Caracterización de Procesos de Fotocurado por medio de UV-DSC. Recuperado 23 de febrero de 2023, de <https://blog.analitek.com/caracterizaci%C3%B3n-de-procesos-de-fotocurado-por-medio-de-uv-dsc-0>

8. Online, C. (n.d.). Información técnica de las Tintas flexograficas. Cosmos Online. Recuperado 23 de febrero de 2023,de <https://www.cosmos.com.mx/wiki/tintas-flexograficas-cj1d.html>
9. El Empaque. (n.d.). elempaque. Recuperado 23 de febrero de 2023,de <https://www.elempaque.com/es/blog/aspectos-fundamentales-en-tintas-para-impresion-de-empaques>
10. Oliver + Batlle. (2024, February 13). La dispersión, el primer paso en la fabricación de pinturas. Recuperado 5 de marzo de 2023,de <https://oliverbatlle.com/la-dispersion-el-primer-paso-en-la-fabricacion-de-pinturas/>
11. Mexpolimeros. (s. f.). Tensión superficial. Polímeros Termoplásticos, Elastómeros y Aditivos. <https://www.mexpolimeros.com/tensi%C3%B3n%20superficial.html>
<https://oliverbatlle.com/que-es-la-tixotropia/#:~:text=La%20tixotrop%C3%ADa%20es%20la%20propiedad,ciz%20a%20m%C3%A1s%20disminuye%20su%20viscosidad.>
12. Oliver + Batlle. (2024b, febrero 13). *Qué es la tixotropía y cómo influye en la fabricación de pinturas y afines.* <https://oliverbatlle.com/que-es-la-tixotropia/#:~:text=La%20tixotrop%C3%ADa%20es%20la%20propiedad,ciz%20a%20m%C3%A1s%20disminuye%20su%20viscosidad.>
13. Molienda húmeda - IKA. (s. f.). IKA. <https://www.ikaprocess.com/es/Molienda-humeda-appl-5.html>
14. Hamelin, M. (2023, 12 febrero). Choosing the Right Grinding System for (Processing) Pigments. PROCESS Worldwide. <https://www.process-worldwide.com/choosing-the-right-grinding-system-for-processing-pigments-a-92e2eeb5ea40fb9ee684fb0cd6a44065/>
15. *Perlas de Silicato de Circonio – Disperset.* (s. f.). <https://disperset.com/perlas-de-silicato-de-circonio/>
16. Huayin. (2023, 24 noviembre). What is Wet Grinding Process? Exploring Methods and Technologies. Rectificado Allwin.

- https://www.allwin-grinding.com/es_mx/que-es-el-proceso-de-molienda-humeda-explorando-metodos-y-tecnologias/
17. Oliver + Batlle. (2023, 15 mayo). Cómo optimizar el proceso de molienda en húmedo en pinturas.
<https://oliverbatlle.com/optimizar-proceso-de-molienda-en-humedo-en-pinturas/>
18. Sydle. (2023b, diciembre 10). Control de Calidad: ¿cuál es su función? ¡Descubre cómo hacerlo! Blog SYDLE.
<https://www.sydle.com/es/blog/control-de-calidad-cual-es-su-funcion-descubre-como-hacerlo-635692df4037f135695fbd75>
19. ¿Qué es la medición del color? | X-Rite Blog. (s. f.). X-Rite.
<https://www.xrite.com/es/blog/color-measurement>
20. Blanc, A. (2023, 20 julio). Medición de la viscosidad dinámica. Sofraser.
<https://www.sofraser.com/es/sin-categorizar/como-se-mide-la-viscosidad-dinamica/>
21. Accesorio para MCR: geometrías de reómetro | Anton Paar. (s. f.). Anton Paar.
<https://www.anton-paar.com/pe-es/productos/detalles/sistemas-reologicos-de-medicion/>
22. Reómetro Compacto Modular: MCR 102E/302E/502E | Anton Paar. (s. f.). Anton Paar.
https://www.anton-paar.com/mx-es/productos/detalles/reometro-mcr-102-302-502/?ref=adwords&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=MX_BC.RHEO_ES&utm_content=C-00061115&qad_source=1&gclid=Cj0KCQjwudexBhDKARIsAl-GWYWRf64wQ8K6LZvhntnOELsp26saDa0njPFkzdmNr29h5Ck0kSpslYaAlkLEALw_wcB&sku=241352
23. Grindómetros Hegman - Precisión — Neurtek. (s. f.).
<https://www.neurtek.com/es/pintura-recubrimientos/control-pintura/grindometro-hegman-de->

- [precision#:~:text=Los%20Grind%C3%B3metros%20se%20usan%20para,e
ecci%C3%B3n%20de%20la%20boquilla%20adecuada.](#)
24. Gil, C. (s. f.). 7 herramientas básicas de calidad. Instituto Mudanai.
<https://blog.mudanai.org/kaizen-mejora-continua/calidad/control-de-calidad/tqm/7-herramientas-basicas-de-calidad/>
 25. ¿Qué son las 7 Herramientas de Calidad? - Ingeniia. (2023, 24 julio). Ingeniia.
<https://ingeniia.com/que-son-las-7-herramientas-de-calidad/>
 26. Ramos, D. (2022, 18 enero). As sete ferramentas da qualidade. Blogdelacalidad.
<https://blogdelacalidad.com/las-siete-herramientas-de-la-calidad/>
 27. Cantarero, A. (2023, 4 septiembre). ¿Qué es un diagrama de flujo y cómo hacer uno? Ebac.
<https://ebac.mx/blog/diagrama-de-flujo>
 28. AEC - 5 porqué. (s. f.).
<https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/5-porque#:~:text=Los%205%20Por%20que's%20es,de%20cinco%20niveles%20de%20detalle.>
 29. Sydle. (2024, 1 febrero). ¿Qué es el Diagrama de Ishikawa? Aprende más sobre el diagrama de causa y efecto y como aplicarlo. Blog SYDLE.
<https://www.sydle.com/es/blog/diagrama-de-ishikawa-causa-y-efecto-635890bc93242944286ba332>
 30. Betancourt, D. (2022, 22 febrero). Lista de chequeo o verificación como herramienta de calidad. Ingenio Empresa.
<https://www.ingenioempresa.com/lista-de-chequeo/>
 31. Toyos, S. (2023, 13 septiembre). Diagrama de Pareto en Mantenimiento: en qué consiste y cuáles son sus beneficios.
<https://www.fractal.com/es/blog/diagrama-de-pareto-en-mantenimiento>
 32. Betancourt, D. (2022b, febrero 22). Pareto: Qué es y cómo se hace + MODELO plantilla en EXCEL. Ingenio Empresa.
<https://www.ingenioempresa.com/diagrama-de-pareto/>
 33. Histograma. (s. f.). Introducción A la Estadística | JMP.

https://www.jmp.com/es_mx/statistics-knowledge-portal/exploratory-data-analysis/histogram.html

34. SPC Consulting Group. (2023, 8 noviembre). Diagrama de dispersión | SPC Consulting Group. SPC Consulting Group | Expertos En Capacitación y Consultoría Para la Mejora Continua y Gestión de la Calidad.
<https://spcgroup.com.mx/diagrama-de-dispersion/>
35. Las bases para aplicar Kaizen. (2024). ZEPER.
<https://zeper.app/las-bases-del-kaizen/>
36. Gerencia Gemba: las 5 reglas de oro para aplicar la cultura Kaizen. (2024). ZEPER.
<https://zeper.app/gerencia-gemba-las-5-reglas-de-oro-para-aplicar-la-cultura-kaizen/>
37. Facultad de Química - Ingeniería Química. (s. f.).
<https://quimica.uaemex.mx/oferta-acad%C3%A9mica/licenciaturas/ingenier%C3%ADa-qu%C3%ADmica.html>
38. Molino industrial de tres cilindros Proveedores, fabricantes - Precio de costo Molino industrial de tres rodillos en venta - ELE. (s. f.).
<https://www.ele-beadmill.com/three-roll-mill/industrial-three-roll-mill.html#:~:text=El%20equipo%20consta%20de%20tres,rodillo%20trasero%20gira%20hacia%20atr%C3%A1s.>
39. Grafiflex. (2021, 7 abril). TINTAS y LA TRANSFERENCIA DE COLOR EN IMPRESION FLEXOGRAFICA -. Grafiflex SRL.
<https://grafiflex.net/2021/04/07/tintas-y-la-transferencia-de-color-en-impresion-flexografica/>
40. Juran, J., Gryna, F. M., H. Chua, R. C., & DeFeo, J. A. (2007). Método Juran análisis y planeación de la calidad (5ta Edición). McGraw-Hill Interamericana de España.
<https://salazarvirtual.sistemaeducativosalazar.mx/assets/biblioteca/0ef17c901cfe31916fd9b59434e1624->

[Metodo%20Juran%20An%C3%A1lisis%20y%20Planeaci%C3%B3n%20de
%20la%20Calidad-juran%205ta%20ed.pdf](#)