

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BARNICES PARA LA
FABRICACIÓN DE TINTAS BASE ACEITE**

Presentado por:

Santiago Ángel Gallego

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Procesos

Asesor del Proyecto:

Ing. Gustavo Mendoza Aristizábal

**UNIVERSIDAD EAFIT
Departamento de Ingeniería de Procesos
Escuela de Ingeniería
Medellín
2009**

TABLA DE CONTENIDO

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	8
JUSTIFICACIÓN	9
RESUMEN	10
OBJETIVOS	12
OBJETIVO GENERAL.....	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1. MARCO REFERENCIAL.....	14
1.1. PROCESOS DE MANUFACTURA	14
1.2. PRODUCCIÓN DE BARNICES ÓLEO-RESINOSOS.....	15
1.3. COMPONENTES DEL BARNIZ	16
2. DISEÑO METODOLÓGICO	20
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	22
3.1. FASE 1: ENFOQUE Y MEDICIÓN.....	22
3.1.1. ENFOQUE DEL PROYECTO, PRODUCTOS	22
3.1.2. CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DEL CLIENTE, (CTQ´S)	23
3.1.3. CAUSAS TENTATIVAS DE DEFECTOS, DIAGRAMA CAUSA EFECTO.....	26
3.1.4. MODOS POTENCIALES DE FALLA, EFECTOS-CAUSAS- CONTROLES Y PRIORIZACIÓN DE LAS OPERACIONES	27
3.1.5. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS.....	28
3.1.5.1. RESULTADOS GAGE R & R (REPRODUCIBILIDAD, REPETIBILIDAD)	30
3.2. FASE 2: ANÁLISIS PRELIMINAR DEL PROCESO	35
3.2.1. RECOLECCIÓN DE DATOS DE PROCESO.....	35
3.2.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES DE SEGUIMIENTO.....	35
3.2.3. ENFOQUE DEL PROYECTO, ETAPAS DE PROCESO	36
3.2.3.1. MATRIZ DE DESPLIEGUE DE FUNCIONES (MDF)	36
3.2.3.2. ANÁLISIS DE TIEMPOS.....	38
3.2.3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PROCESO.....	40
3.2.3.3.1. OPERACIÓN DE AGITACIÓN	40
3.2.3.3.2. ROTAMIX	41
3.2.3.3.3. BARNIZ.....	42
3.3. FASE 3: MEJORAR, CONDICIONES ÓPTIMAS DE FABRICACIÓN .	43
3.3.1. PESAR/CARGAR.....	43
3.3.2. AGITAR/CALENTAR	46
3.3.2.1. CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN.....	46
3.3.2.2. SISTEMA DE CALENTAMIENTO	52
3.3.3. CONTROL CALIDAD PROPIEDADES.....	54
3.3.3.1. MÉTODO DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS	54

3.3.3.2. TEMPERATURA DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS.....	56
3.3.4. FILTRAR/ENVASAR	59
3.3.4.1. ESTRUCTURA DE LOS FILTROS.....	59
3.3.4.2. TAMAÑO DE PORO	60
3.3.4.3. OPERACIONES ACOPLADAS	61
3.3.5. ESTRUCTURAR (BE)	61
3.3.6. PROCESO INICIAL Vs PROCESO PROPUESTO	63
3.3.7. BENEFICIOS ECONÓMICOS GENERADOS.....	65
3.4. FASE 4: CONTROLAR, INDICADORES DE EFICIENCIA Y CONTROL DE PROCESO.....	66
3.4.1. INDICADOR DE EFICIENCIA, CAPACIDAD DE PROCESO (Cp)...	66
3.4.2. INDICADORES DE CALIDAD (FTP Y RTY).....	67
CONCLUSIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXOS	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1: Diagrama de proceso para la fabricación de barnices base aceite	16
Figura 2: Componentes del barniz y su función principal dentro de éste	17
Figura 3: Grado de cumplimiento de las CTQ'S	24
Figura 4: Diagrama Causa-Efecto proceso fabricación barnices	27
Figura 5: Viscosímetro Laray Tintas S.A	30
Figura 6: Gages R&R sistema de aprobación de barnices base aceite	33
Figura 7: Capacidad inicial de la etapa de agitación	40
Figura 8: Valores promedio de eficiencia de agitación para cada barniz	43
Figura 9: Resultados DOE, Condiciones óptimas de operación	48
Figura 10: Resultados comparación de medias métodos tradicional y alternativo de medición de propiedades.	55
Figura 11: Fotografía en planta del filtro utilizado para la filtración de barnices base aceite.	59
Figura 12: Fotografía del filtro construido para la filtración de barnices base aceite	60
Figura 13: Dimensiones del recipiente de estructuración para BE	62
Figura 14: Indicadores de calidad FTP Y RTY	67

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág
Gráfica 1: Pareto de producción de barnices base aceite, % de participación en la producción	23
Gráfica 2: Pareto MDF, impacto de operaciones sobre las CTQ'S	37
Gráfica 3: Participación de operación en el tiempo productivo de fabricación de barnices	39
Gráfica 4: Comparación entre el proceso inicial y propuesto basado en indicadores de eficiencia, tiempo y Variación	52
Gráfica 5: Flujo de caja descontado para el sistema de calentamiento a gas del proceso de fabricación de barnices base aceite	53
Gráfica 6: Variación de la viscosidad con la temperatura para el barniz 969445, modelo cuadrático	56
Gráfica 7: Variación de la viscosidad con la temperatura para el barniz 969445, modelo potencial	57
Gráfica 8: Resultados obtenidos para tiempo de fabricación y eficiencia global de proceso de producción de barnices base aceite	64

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1: CTQ´S proceso de fabricación de barnices base aceite	25
Tabla 2: Matriz AMEF proceso de fabricación de barnices base aceite	28
Tabla 3: Resultados MDF proceso de fabricación de barnices base aceite	37
Tabla 4: Resultados DOE para eficiencia operación de agitación	47
Tabla 5: Resumen de resultados, % de reducción de tiempos de fabricación	63
Tabla 6: Ahorros económicos estimados para el proceso propuesto	65

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo 1: Certificado calibración viscosímetro Laray	74
Anexo 2: Certificado de calibración Tackometer	75
Anexo 3: Análisis ANOVA Sistema de medición de propiedades reológicas	76
Anexo 4: Registro báscula planta barnices	79
Anexo 5: Registro báscula planta barnices	80
Anexo 6: Análisis One-Way ANOVA para eficiencia de operación Vs Barniz	81
Anexo 7: Mann-Whitney test Rotamix 1 Vs Rotamix 2	81
Anexo 8: Resultados Diseño de experimentos	83
Anexo 9: Two-Sample T-Test para método viscosímetro Laray, método tradicional Vs Método alternativo	85
Anexo 10: Formato de la encuesta de las CTQ'S	87
Anexo 11: Condiciones estándar de operación del proceso de fabricación de barnices base aceite	89

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BARNICES PARA TINTAS BASE ACEITE

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

A pesar que la demanda de barniz requerida para la fabricación de tintas, en el periodo Enero 2008 – Julio 2008, se cumplió en un 63% [3] y que la calidad de éste fue aceptable; hubo ocasiones en que se presentaron inconvenientes en la planta de fabricación de tintas por el desabastecimiento de algunas referencias en un 42% [5], debido en parte, a la carencia de estandarización de los procesos y a los largos y variables tiempos de producción para la fabricación de los barnices.

JUSTIFICACIÓN

El proyecto busca la optimización de las condiciones de operación que permitan disminuir al máximo los tiempos improductivos que se generan en el proceso actual, y establecer procedimientos estandarizados que eliminen la variación que en éste se puede presentar debido a causas asignables, con el fin de garantizar la reproducibilidad del proceso productivo, y el abastecimiento oportuno de esta materia prima para la fabricación de tintas base aceite.

RESUMEN

El proceso de fabricación de barnices base aceite presenta una alta variación en su tiempo de desarrollo, lo que ha generado carencias de este producto en la planta de tintas base aceite que lo utiliza como principal materia prima y que en general exige el abastecimiento oportuno de barniz y altos niveles de calidad en éste. El tiempo productivo total evaluado en el estado inicial del proceso fue de 5.5 h con una variación de 1.6 h y se determinó que la operación de agitación representa el 50% del tiempo productivo total, convirtiéndose así en la operación crítica del proceso. Cuatro de los 24 barnices o intermedios que en la planta se producen, fueron seleccionados como enfoque al representar el 80% de la producción de ésta. Aunque se trataron cuatro barnices de diferentes propiedades y composición química, no se presentaron diferencias significativas en la eficiencia de agitación (Kg/min) entre estos. La variable Rotamix (equipo de agitación) fue bloqueada para el desarrollo del diseño de experimentos, tras determinar que entre las dos máquinas disponibles en la planta existían diferencias notables en el valor medio de la eficiencia de operación, obteniendo eficiencias de 4.3 Kg/min y 5,9 Kg/min para los equipos 1 y 2 respectivamente. El diseño de experimentos se desarrolló sobre la etapa de agitación, se evaluaron dos factores a dos niveles cada uno, la temperatura de adición de resina sólida (90°C, 110°C) y el modo de adición secuencial de la misma (25%(4 cargas), 50% (dos cargas)), con 2 réplicas para cada combinación y punto al centro replicado 4 veces. Doce ensayos fueron evaluados para cada bloque (Rotamix 1 y rotamix 2). Las combinación óptima fue 90°C-50% resina, con una eficiencia de agitación de 7.318 Kg/min que generó un incremento de 35% en la eficiencia y una reducción de 0,8 h en el tiempo de operación, de 2, 7 h a 1, 9 h, comparado con el estado inicial. La eficiencia global lograda mediante esta combinación y algunas recomendaciones adicionales hechas sobre las restantes operaciones, fue de 3,5 Kg/min superior a los 2,7 Kg/min iniciales, de esta manera el tiempo total del proceso fue disminuido hasta

4.10 h. Mediante el proceso propuesto se generan ahorros aproximados por COP 3'600.000/mes, teniendo como fuente principal, la disminución en las horas laboradas por el personal operativo, el menor consumo de bolsas de filtración y la reducción de la pérdida de producto generada en los filtros. Dos indicadores de control, Capacidad de proceso y RTY fueron establecidos como mecanismos de seguimiento de eficiencia y calidad del proceso, respectivamente. Estos indicadores permitirán tomar decisiones respecto al proceso basados en información real proveniente de éste y no en especulaciones.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Optimizar las condiciones de operación del proceso de fabricación de barnices fenólicos e hidrocarburos con el fin de incrementar los niveles de productividad de la planta de barnices; y reducir los contratiempos ocasionados por las necesidades de estos productos en el proceso de fabricación de tintas base aceite. Todo ello enmarcado en los niveles de calidad exigidos por el proceso.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variables fisicoquímicas y operativas que tienen una incidencia significativa en el proceso de fabricación de barnices base aceite.
- Encontrar la combinación óptima para las variables de operación involucradas en el proceso para obtener la mayor eficiencia posible, en términos de productividad y calidad.
- Estandarizar el proceso productivo de tal manera que se elimine la variación generada en este.
- Eliminar las causas de los tiempos improductivos generados en el proceso.
- Generar ahorros significativos, en dinero y tiempo, dentro del proceso de producción de barnices.

- Incorporar al proceso de fabricación de barnices, mecanismos y procedimientos que permitan el mejor manejo de los materiales.
- Implementar control estadístico del proceso que ponga a disposición de los interesados información útil que permita tomar decisiones basados en indicadores y no en simples sospechas.

1. MARCO REFERENCIAL

La mayoría de las tintas consiste en un pigmento, que otorga poder colorante a la tinta, disperso en el vehículo o barniz. La dispersión se logra principalmente mediante medios mecánicos que ofrecen alta eficiencia, economía, reproducibilidad y en algunos casos velocidad de fabricación.

1.1. PROCESOS DE MANUFACTURA

Los elementos constitutivos de una tinta son:

Pigmento: representa entre el 12% y 17% [3,5] de la composición de la tinta, son los encargados de otorgar el poder colorante a ésta al mismo tiempo que la enriquecen con otras propiedades importantes para el impresor como la transparencia y resistencias específicas a algunas condiciones de exposición a las que puede estar sometida [1,5].

Aditivos: son componentes específicos de cada tinta, encargados de incorporar propiedades o de mejorar algunas de las que ésta ya tiene. Algunos de los aditivos más usados son: secantes, antioxidantes, ceras, aditivos litográficos y modificadores reológicos.

Barniz: es el componente fundamental de todas las tintas, representa aproximadamente 70% de su composición, de su calidad depende la mayoría de las propiedades y el éxito del proceso de impresión posterior, en literales posteriores se ahondará respecto a éste, el componente principal y mayoritario de toda tinta.

1.2. PRODUCCIÓN DE BARNICES ÓLEO-RESINOSOS

El barniz tiene tres funciones principales, estas son [2,4]:

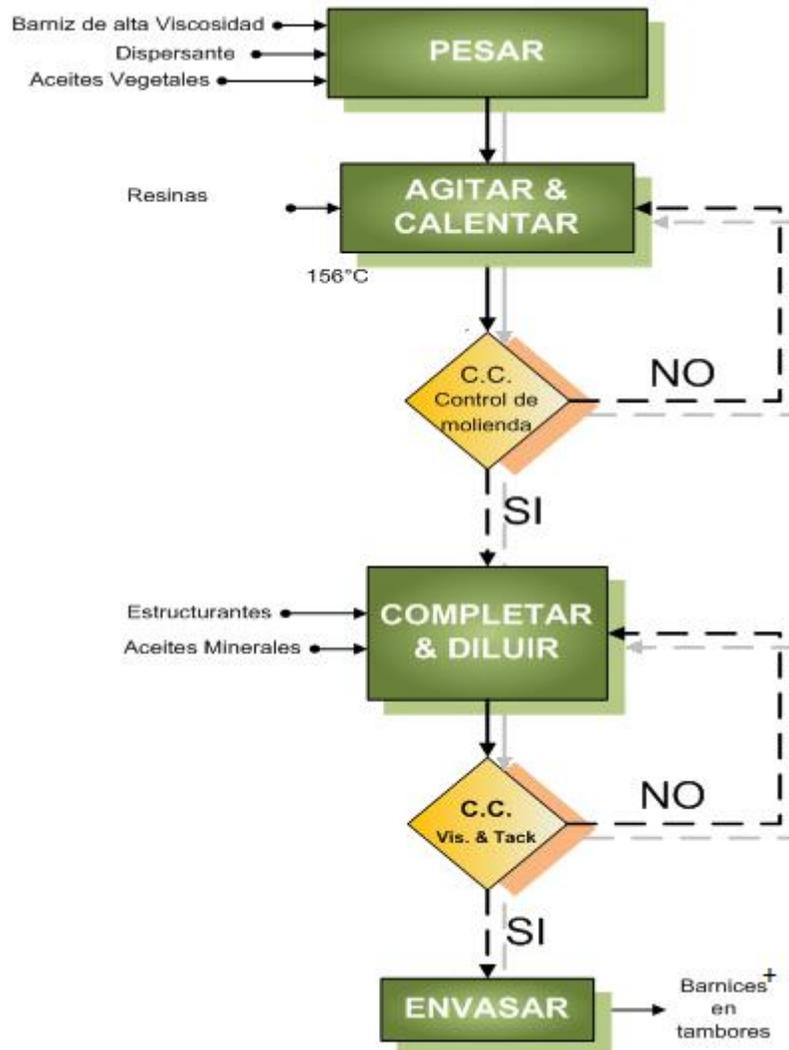
- Transportar el pigmento de manera que se pueda dar el proceso de impresión.
- Humectar el pigmento y favorecer el proceso de dispersión.
- Dar a la tinta las características de impresión que ésta necesita de acuerdo al sistema de secado.

Los barnices óleo-resinosos son producidos en recipientes cerrados, generalmente se fabrican lotes de máximo cinco toneladas para garantizar la correcta homogenización del sistema aceitoso; los recipientes son calentados con aceite térmico a través de una chaqueta que rodea el recipiente. Durante el proceso se alcanzan altas temperaturas, usualmente entre 140°C y 230°C y reacciones verdaderamente complejas se dan durante el proceso de cocción [1,5], (figura 1).

Después de la preparación de la mezcla básica de aceites y resinas duras y blandas, ésta puede ser modificada mediante los llamados “quelatos” que son agentes estructurantes [1,5], generalmente metálicos, disueltos en complejos orgánicos para favorecer la dilución [13].

La fabricación de barnices requiere de una combinación entre un conocimiento basto en resinas, tintas y su tecnología, y la “experticia” ganada durante varios años de fabricación de barnices. Esto ha llevado a muchas empresas a tomar la decisión de no fabricar sus propios barnices y adquirirlos a empresas especializadas en la fabricación de estos [3].

Figura 1: Diagrama de proceso para la fabricación de barnices base aceite

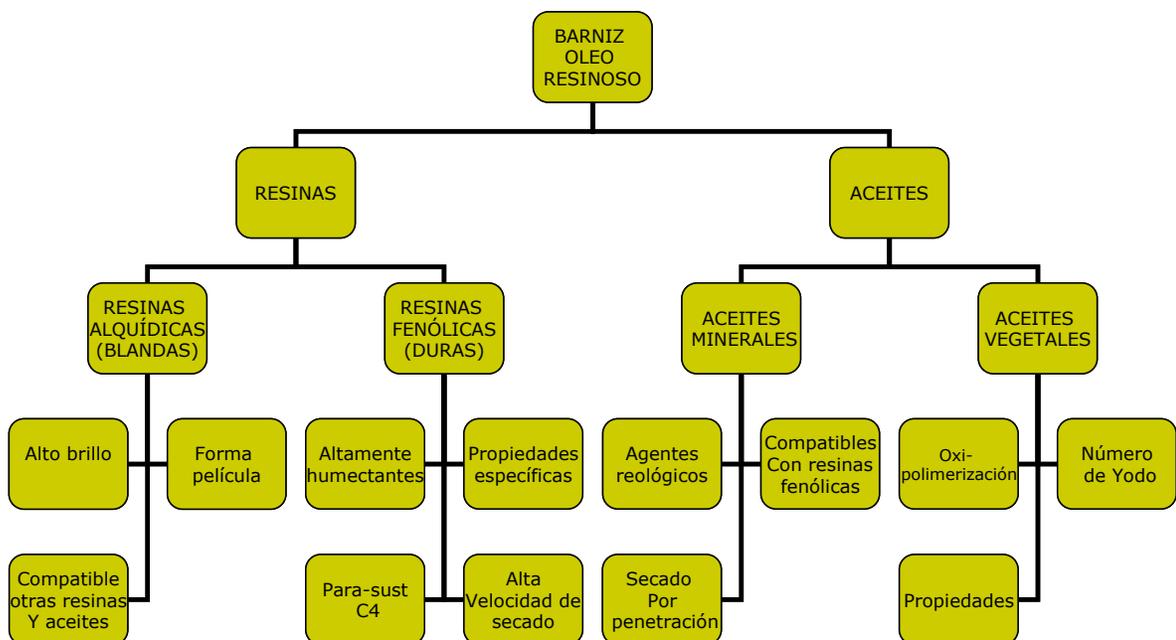


1.3. COMPONENTES DEL BARNIZ

La figura 2, presenta un cuadro resumen en el cual se presentan los componentes básicos de un barniz óleo-resinoso y sus principales funciones dentro de la formulación del barniz. La formulación de los barnices es cuidadosamente

desarrollada y en general, las cantidades y proporciones de cada componente deben ser respetadas a cabalidad para garantizar las características técnicas que sobre el barniz se exigen como producto.

Figura 2: Componentes del barniz y su función principal dentro de éste



Resinas alquídicas: estas se han convertido en la resina fundamental para la formulación de barnices, especialmente por su viscosidad manejable, El alto brillo de estas permite que sean muy utilizadas principalmente como formadoras de película en tintas de rápido secado, es el caso de tintas litográficas y rotativas. Su compatibilidad con otras resinas permite que puedan ser usadas en combinación con estas, siempre y cuando la formulación del barniz resultante sea cuidadosamente diseñada [4].

En resumen los usos de estas resinas en la fabricación de tintas base aceite se pueden clasificar en:

- Interacciones con el pigmento
- Interacciones con resinas duras
- Formación de capas

Resinas fenólicas: son usadas junto con aceites para producir barnices para tintas rotativas y litográficas. Presentan alta capacidad de humectación de pigmento, por lo que en ocasiones son usadas como modificadores de barnices fenólicos para mejorar la humectación y estabilidad de estos. Presentan, relativamente, bajos puntos de ablandamiento, entre 90°C y 140°C [2,5], Los barnices fabricados con estas resinas presentan excelentes velocidades de secado, muy buen brillo, buenas propiedades de adhesión y altas resistencias a los álcalis [2,4].

Aceites minerales: se utiliza esta denominación para aceites obtenidos por refinado del petróleo y cuyo principal uso es el de lubricantes en la industria automotriz. Sin embargo por su destacada viscosidad son utilizados como agentes reológicos para modificar propiedades como viscosidad y tiro o tack en la industria de tintas. Adicionalmente, los aceites minerales influyen en el fijado y brillo de la tinta así:

- Si son muy compatibles con la resina fenólica, la tinta presenta buen brillo y mal fijado
- Si son medianamente compatibles con la resina fenólica, la tinta presenta mal brillo y buen fijado.

Aceites vegetales: químicamente son glicéridos o triglicéridos de ácidos grasos saturados o insaturados que se caracterizan por su alta capacidad para absorber

oxígeno del aire para formar mediante oxi-polimerización películas elásticas o pieles, dependiendo del nivel de polimerización alcanzado. [2,4,5]. Estos aceites están directamente relacionados con el proceso de secado de la tinta.

2. DISEÑO METODOLÓGICO

El proyecto fue desarrollado siguiendo cuatro fases o etapas secuenciales y claramente diferenciadas en las que se fue ahondando en el conocimiento del proceso de fabricación hasta llegar a su optimización y estandarización.

En la fase 1 se desarrolló una inspección del proceso, se seleccionaron los productos que representan el 80% de la producción de la planta, sobre estos se concentró el desarrollo metodológico. Las fichas técnicas de los barnices seleccionados no pueden ser publicadas por políticas de reserva de la compañía. Las características críticas del cliente (CTQ'S) se determinaron a partir de una encuesta a la que respondieron 13 personas de las áreas de Producción y Técnica de la compañía Tintas S.A.. Con el desarrollo del diagrama causa-efecto y la matriz AMEF se detectaron los modos potenciales de falla del proceso y se estableció donde y porqué éste presenta fuentes de variación en su productividad y por supuesto en los indicadores de calidad de los barnices fabricados. Para evaluar la capacidad del sistema de medición de propiedades reológicas se corrió un Gage R&R con tres analistas de calidad (operador), tres muestras y tres mediciones por cada muestra.

La fase 2 sirvió como enfoque; se presentó el estado inicial del proceso en función del tiempo de cada operación. Con la matriz MDF se determinó cuales eran las etapas más críticas de acuerdo a su nivel de participación en el tiempo productivo total y en su impacto sobre las CTQ'S. Se desarrollaron pruebas estadísticas con el fin de determinar si existían diferencias significativas en la eficiencia de operación y global para los 4 barnices seleccionados, y entre los Rotamix (equipos de agitación).

La fase 3 correspondió al diseño de experimentos que permitió conocer las condiciones óptimas de fabricación. Se desarrolló un diseño factorial 2^k (dos réplicas) con punto central (4 réplicas) enfocado en la operación de agitación, y cuya variable de respuesta fue la eficiencia de operación medida en Kg/min. Se evaluó como factores la temperatura de adición de resina sólida y el modo de dosificación o adición de ésta, ambas a dos niveles (90°C-110°C, 25%-50%). La variable Rotamix fue bloqueada para este diseño. En total se llevaron a cabo 24 ensayos. La calificación de calidad del barniz fue medida como variable secundaria de seguimiento. Recomendaciones adicionales sobre las restantes etapas del proceso fueron propuestas. Una vez obtenidos los resultados, se cuantificó la disminución en los tiempos de proceso, el incremento en la eficiencia del mismo, y los ahorros generados por el proceso propuesto.

Determinadas las condiciones óptimas de proceso, en la fase 4 se establecieron estándares para el mismo. La capacidad de proceso se definió como el índice de control de la productividad del proceso en función de su eficiencia, y el RTY como indicador de calidad del barniz fabricado.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. FASE 1: ENFOQUE Y MEDICIÓN

3.1.1. ENFOQUE DEL PROYECTO, PRODUCTOS

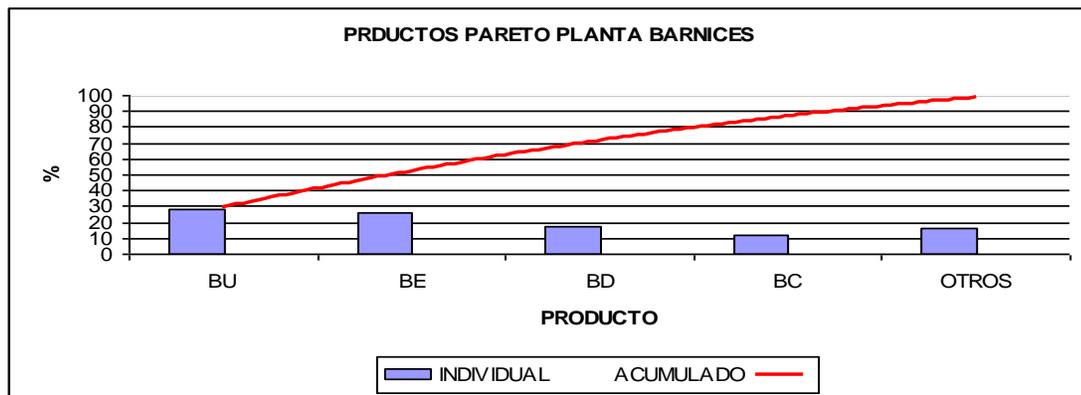
El proyecto está enfocado en los barnices que representan el 80% de la producción de la planta, basados en el principio de Pareto, también conocido como la regla 80/20 que enuncia que el 20% de una acción producirá el 80% de los efectos, mientras que el 80% restante sólo origina el 20% de los efectos [6,10]. En este caso se puede dar una interpretación análoga, el 80% de los defectos son producidos por el 20% de las causas.

De esta manera, tomando el 80% de la producción, pues son estos productos los que demandan mayor tiempo de uso de los equipos, además son productos que día a día se fabrican para suplir las necesidades de la planta de fabricación de tintas base aceite, se abordará la mayor parte del problema tomando acciones solo sobre el 20% de las causas que los generan y por esta vía se conseguirá mejorar las condiciones y metodologías para la fabricación de estos productos que conlleven a un incremento en la productividad del proceso.

Del sistema de información de la compañía se puede extraer información acerca de los históricos de producción de la planta de barnices. Se revisó y analizó el histórico en lo corrido del año 2008 hasta Octubre 31 del mismo año, de donde se obtuvo que los productos Pareto son cuatro barnices de fundamental importancia para la fabricación de tintas, la planta produce un total de 24 barnices o intermedios, de ellos solo cuatro representan un 84% de la producción, estos barnices son: Barniz universal (BU), Barniz estructurado (BE), Barniz de dispersión (BD) y Barniz Cold Set (BC) [3]. La inclusión del BC genera un exceso de 4% en la Ley de Pareto, a pesar de ello representa una cantidad apreciable dentro de la

producción, cerca del 11%, además es el vehículo principal de una línea completa de tintas, la línea Cold Set. El Pareto de producción se presenta en la gráfica 1:

Gráfica 1: Pareto de producción de barnices base aceite, % de participación en la producción.



3.1.2. CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DEL CLIENTE, (CTQ'S)

Se trata de las características técnicas que permiten que el proceso presente alta calidad para el cliente, entendiendo por cliente a todo aquel que tenga implicación alguna con el proceso de fabricación de barnices [6,10], (figura 3).

Se realizó un sondeo previo a diferentes personas de las áreas involucradas con el proceso, a quienes se preguntó sobre las características que debía reunir el proceso de fabricación y el barniz mismo para ser considerados de alta calidad desde su punto de vista. Las respuestas de las 15 personas fueron tenidas en cuenta para la elaboración de una breve encuesta (anexo 10) en la que se reunieron las 10 características más recurrentes. Esta encuesta fue respondida por 13 de las 15 personas citadas previamente. En dicha encuesta se enunciaban las 10 características críticas a calificar, la calificación sería de 1 a 10, donde solo

se podía calificar cada característica con un valor entero el cual no podía ser repetido, los resultados obtenidos se reportan en la tabla 1.

Figura 3: Grado de cumplimiento de las CTQ'S [6],



El personal encuestado y el Área correspondiente fueron:

- Oscar Sánchez-Área Técnica
- Luís Guillermo Mazo- Área Técnica
- Catalina Gómez- Área Técnica.
- Bernardo Betancourt-Control Calidad
- Joaquín López-Producción(Supervisor)
- Gustavo Mendoza-Producción (Jefe de planta)
- Rubén Rojas-Producción (Director de Producción)
- Esteban Jaramillo-Producción (Ex Ingeniería de Procesos)
- Raúl Ramírez-Producción (Ex barnices)
- Humberto Escobar-Producción (Ex barnices, Ex Pesador)
- Wilmar Cano-Producción (Barnices)
- Ferney Cuartas-Producción (Pesador)
- Santiago Ángel-Ex Ingeniería de Procesos.

Tabla 1: CTQ'S proceso de fabricación de barnices base aceite

RESULTADOS CTQ'S		
CARACTERÍSTICA	CALIFICACIÓN PROMEDIO	PONDERACIÓN
MOLIENDA	7,77	10
PROPIEDADES REOLÓGICAS	7,38	9
REPRODUCIBILIDAD DEL PROCESO	6,85	8
TIEMPO DE FABRICACIÓN POR LOTE	5,92	7
DISPONIBILIDAD DEL BARNIZ EN PLANTA	5,85	6
ESTADO TÉCNICO DE LA MAQUINARIA	5,00	5
SALUD Y SEGURIDAD	4,85	4
PLANTA ASEADA	4,77	3
EXISTENCIA Y ALMACENAMIENTO ORGANIZADO	3,62	2
FLUIDEZ DEL BARNIZ (Caliente)	3,00	1

De acuerdo a la tabla 1, dentro de la compañía se espera del proceso, un producto con excelentes especificaciones técnicas y de calidad, además, que éste sea fabricado en un tiempo prudente para beneficio del Área de Producción, que permita cumplir la demanda a la que el barniz está sujeto por parte de la planta de fabricación de tintas base aceite, que de acuerdo a los niveles actuales de producción varía entre 3 y 5 Ton/día [3].

Particularmente, la seguridad del proceso, y por tanto la salud del operario son dos condiciones irrevocablemente necesarias para el buen funcionamiento de un proceso, no solo el operario deberá tomar conciencia de su propia salud sino que, al máximo, el contratista tendrá que ofrecer condiciones de trabajo que faciliten la labor diaria y eviten no solo alteraciones en la salud propia del operario sino también, accidentes, incendios y demás a causa de diferentes instalaciones, métodos y procedimientos que dentro de la planta se puedan instalar o desarrollar [7], por tanto en todo proyecto de optimización se debe buscar también favorecer este aspecto. El presente no es la excepción, y de manera indirecta pero necesaria, se suplirán algunas de estas necesidades aunque no sean el objetivo principal del proyecto.

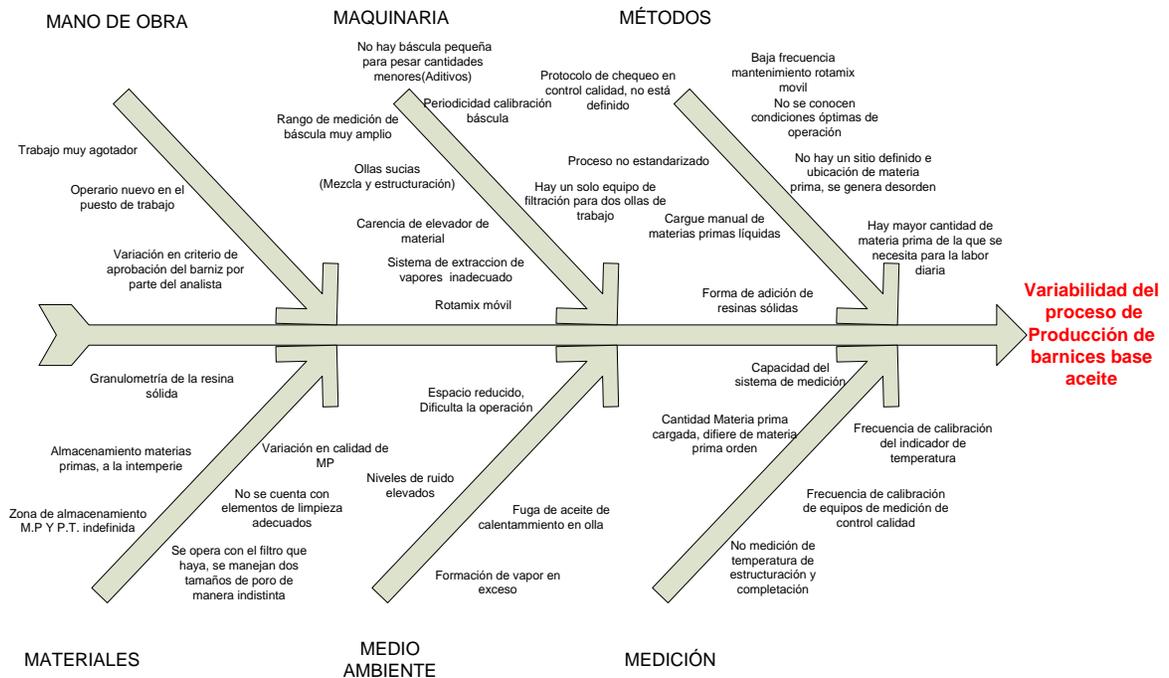
3.1.3. CAUSAS TENTATIVAS DE DEFECTOS, DIAGRAMA CAUSA EFECTO

La variabilidad de las características de calidad de un proceso o producto es un efecto observado que tiene múltiples causas que deben ser identificadas de una manera pronta y sistemática con el fin de solucionar algún problema.

Cuando se pretende enfrentar un problema es necesario conocer en profundidad el proceso con que se trabaja, visualizando con claridad las relaciones entre los Efectos y sus Causas, que generan dicho inconveniente. Un conocimiento profundo del proceso permitirá guiar las discusiones que se puedan generar dentro del equipo de trabajo que busca mejorar el proceso, al exponer con claridad los orígenes de un problema de calidad, y permite encontrar más rápidamente las causas asignables, es decir, eventuales, cuando el éste se aparta de su funcionamiento habitual.

Bajo el criterio de un grupo de Ingenieros pertenecientes a las áreas de Producción y área Técnica, se realizó el diagrama causa efecto (figura 4) del proceso de fabricación de barnices base aceite con la participación de los operarios encargados del proceso y algunos ingenieros de la planta de producción. En éste se reunieron las posibles causas que generan una alta variabilidad en el tiempo de fabricación de los barnices, enfocando éste como el problema principal a solucionar en el presente proyecto.

Figura 4: Diagrama Causa-Efecto proceso fabricación barnices (MP: Materia prima, PT: Producto terminado)



3.1.4. MODOS POTENCIALES DE FALLA, EFECTOS-CAUSAS-CONTROLES Y PRIORIZACIÓN DE LAS OPERACIONES

Esta herramienta permite determinar cuales son los aspectos en los cuales el proceso puede fallar de manera potencial.

Sin embargo el proceso no falla en todos los aspectos considerados en el diagrama causa-efecto, debido a que sobre éste se ejercen diferentes controles que evitan algunas de esas fallas. La matriz de modos potenciales de falla permite conocer cuales son los aspectos en los cuales el proceso presenta alta probabilidad de falla; La evaluación es objetiva y el resultado lo determina el RPN (Risk Priority Number). En la tabla 2 se presentan las causas que representan el

80% del riesgo de falla en el proceso de fabricación de barnices base aceite, buscando como objetivo disminuir la variabilidad de éste mediante la eliminación de los tiempos improductivos de fabricación y conservando siempre excelentes características de calidad del producto.

Tabla 2: Matriz AMEF proceso de fabricación de barnices base aceite

FILTRACIÓN Y ENVASE			
MODOS POTENCIALES DE FALLA	RPN	% PARTICIPACIÓN	%ACUMULADO
Especificaciones técnicas del filtro	441	49,05	49,05
Chequeo control calidad despues de filtración	180	20,02	69,08
Tiempo de filtración	140	15,57	84,65
Calidad tambores de envase	120	13,35	98,00
Forma de envasar (de acuerdo al barniz)	18	2,00	100,00

FABRICACIÓN			
MODOS POTENCIALES DE FALLA	RPN	%PARTICIPACIÓN	% ACUMULADO
Temperatura de completación	2016	17,11	17,11
Aditivos (Cantidad, Calidad)	1696	14,39	31,51
Sistema de medición control calidad (Propiedades)	1608	13,65	45,15
Adición de resina	1218	10,34	55,49
Aplicación del barniz piedra NPIRI (Molienda)	996	8,45	63,95
Manipulación de materias Primas	990	8,40	72,35
Tiempo de chequeo propiedades	826	7,01	79,36
Cargue manual materia prima líquida	648	5,50	84,86
Tiempo de chequeo molienda	630	5,35	90,21
Calibración equipos de medición de propiedades del barniz	312	2,65	92,85
Calidad de la resina	162	1,37	94,23
Fucionamiento Rotamix (agitar/calentar)	128	1,09	95,31
Calibración de la báscula	126	1,07	96,38
Aceite térmico	108	0,92	97,30
Funcionamiento del Rotamix (completación)	102	0,87	98,17
Estado técnico piedra de Medición NPIRI	72	0,61	98,78
Medicion de la temperatura de proceso	60	0,51	99,29
Sistema de extracción de vapores	48	0,41	99,69
Resistencias de calentamiento	36	0,31	100,00

3.1.5. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS

Aunque el proyecto busca principalmente disminuir los tiempos de fabricación de barnices base aceite, se deben mantener los niveles de calidad exigidos al barniz

fabricado; por ello es determinante evaluar la capacidad del sistema de medición de propiedades reológicas para garantizar que la variación en términos de calidad de estas no es debida a fallas en el sistema de medición y así poder asegurar que las especificaciones que se establecerán para el proceso no alteran la calidad de los productos.

Se corrió un Gage R y R (Repetibilidad, Reproducibilidad), con el fin de determinar la precisión y exactitud del sistema de medición de propiedades reológicas de productos aceitosos (Tintas, barnices, concentrados) con el que se cuenta en la compañía. El análisis se desarrolló para tres propiedades reológicas del barniz, viscosidad, rigidez y tack. Estas tres propiedades son las que garantizan la calidad del barniz dentro del sistema de aprobación de Tintas S.A.

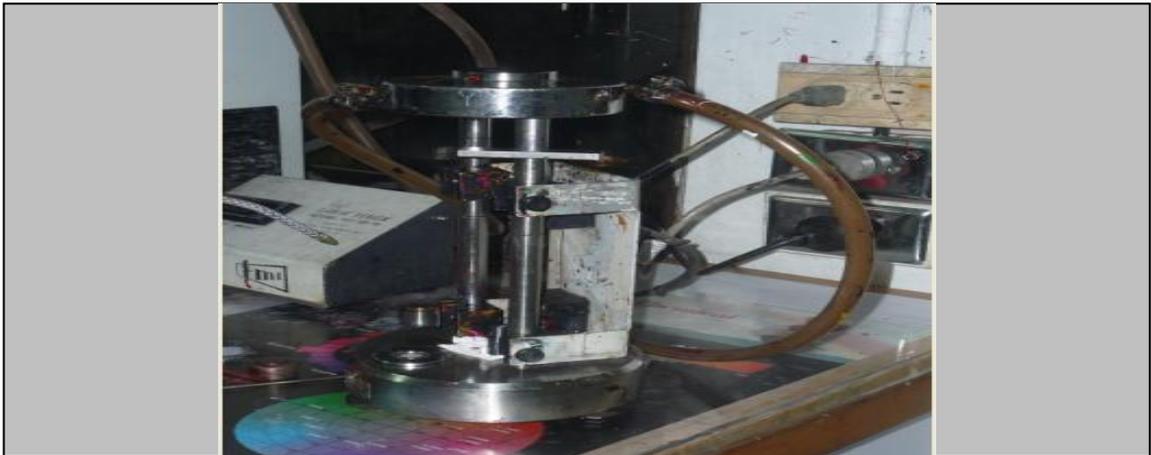
El instrumento de medición utilizado para la medición de la viscosidad y la rigidez es un viscosímetro de caída de barra, o viscosímetro Laray (figura 5), es el más adecuado y difundido método para determinar las propiedades reológicas de tintas litográficas y de periódico [4], así como de sus vehículos constitutivos. La precisión de la medición depende del método que sea usado, pero una vez este sea establecido es posible obtener valores con aceptable repetibilidad [4].

El tack puede ser definido como la pegajosidad de una sustancia o alternativamente como la fuerza necesaria para separar en dos planos una capa de sustancia en estado líquido, es la propiedad que determina el grado de solubilidad o compatibilidad del barniz y en el caso final de las tintas es el factor que gobierna su aplicación en el papel y su compatibilidad con otras tintas. Esta propiedad es medida en el Tackometer.

Previo al análisis, debe garantizarse que todos los equipos de medición estén calibrados de manera que permitan tomar la medición con seguridad y certeza.

Como evidencia del cumplimiento de este requisito se presentan los registros de la última calibración de los equipos de acuerdo al programa de calibración establecido por la compañía para estos (anexos 1 y 2).

Figura 5: Viscosímetro Laray Tintas S.A



El desarrollo de los Gages R&R con diferentes lotes de uno solo de los barnices permitió determinar con veracidad la capacidad del sistema de medir el proceso de fabricación de barnices en general. El barniz seleccionado para el análisis fue el barniz BU, barniz básico para tintas, cuyo porcentaje de participación en la producción total de la planta de barnices está entre 15 y 20%. El desarrollo de la prueba con un solo barniz permitió reducir el número de mediciones necesarias a la cuarta parte, de esta manera el grado de compromiso por parte de los analistas encargados de la prueba fue mayor y así lo reflejaron los resultados.

3.1.5.1. RESULTADOS GAGE R & R (REPRODUCIBILIDAD, REPETIBILIDAD)

Las figuras 6 (a,b,c) muestran los resultados para cada una de las propiedades reológicas, así mismo el anexo 3 presenta los resultados del análisis ANOVA de

dos vías para el sistema de medición. El análisis fue desarrollado con un nivel de confianza del 95%.

Para la viscosidad la mayor variación corresponde a la muestra medida con un 81.5% de la variación total. El p-valor de 0.003, obtenido como resultado del análisis ANOVA, refuerza esta observación. La componente de variación debida a la reproducibilidad es nula, un p-valor de 0.427 así lo confirma. El restante 18.5 % de la variación total corresponde a la repetibilidad, la variación que la prueba no es capaz de asignar concretamente a ninguna fuente, de manera que es preciso conocer el proceso de medición para determinar cuales son las posibles causas de este resultado. La temperatura es una variable que genera gran variación en la medición de la viscosidad, los valores de aprobación están reportados a 25°C, por tanto, para contrastar el valor de la medición de un lote determinado con la especificación reportada por el Área Técnica, ambos datos deberán representar la viscosidad a 25°C, de no ser así, habrá alguna variación tal vez significativa en la medición, lo que podría generar errores de aprobación y/o ajustes innecesarios en los lotes fabricados dada la “diferencia” entre la viscosidad medida del lote y la especificación para el producto. El método de medición también puede representar alguna fuente de variación si se considera la naturaleza tixotrópica de los barnices, el orden en que los pesos sean aplicados a la muestra pueden generar alguna variación en la medida, según el comité de expertos en reología de la asociación europea, es recomendable usar inicialmente el peso más grande, seguido del más pequeño, luego el segundo más grande y así sucesivamente [4]. Sobre este último punto en particular se hará hincapié más adelante buscando determinar un método que en la medida de lo posible evada el efecto de la tixotropía de la muestra en la medición.

La medición de la rigidez es paralela a la medición de la viscosidad, mediante la misma linealización se obtiene tanto la viscosidad aparente como la rigidez o

“valor de cedencia” como lo reporta la literatura, por lo que se podrían esperar resultados similares a los obtenidos para la viscosidad.

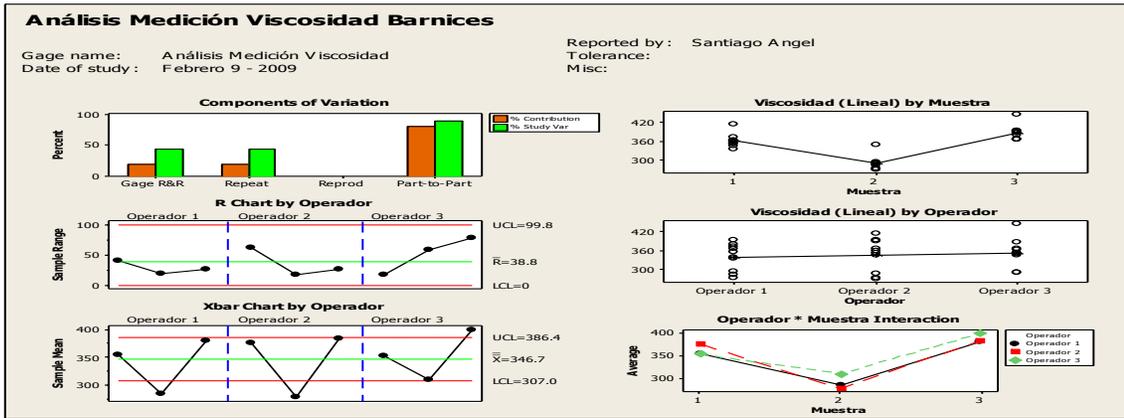
Un p-valor de 0.050 constata que la muestra tiene una incidencia significativa en la variación total de la medición de la rigidez, el 49.04% de la variación total es debida a la variación natural del proceso, es decir a la muestra medida, el restante 50.96% corresponde a la suma de las componentes de repetibilidad y reproducibilidad ,35.20% y 13.86% respectivamente. La influencia de la reproducibilidad en la variación está dada principalmente por la interacción entre la pieza y el analista, este hecho se hace evidente en la gráfica de interacción muestra operador de la figura 6 b.

Aunque se trata del mismo sistema de medición, la componente de repetibilidad es significativamente más alta para la rigidez comparada con el resultado obtenido para la viscosidad. Este hecho puede explicarse desde la tixotropía y la pseudo plasticidad de los barnices, concluyendo que el esfuerzo de corte inicial necesario para que el barniz fluya (Rigidez) difiere medición tras medición, y que según los resultados varía de manera más significativa y pronunciada que la viscosidad.

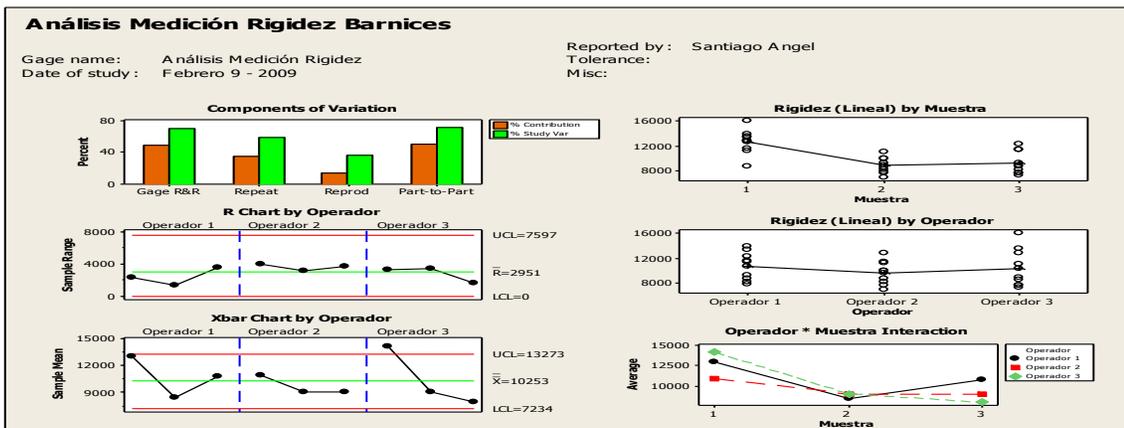
Los resultados obtenidos para viscosidad y rigidez sugieren que aunque el sistema se está comportando de manera adecuada y presenta una aceptable capacidad para medir el proceso, es conveniente corregir algunos aspectos con el fin de eliminar un poco la variación introducida por la repetibilidad, generada fundamentalmente por la temperatura de la muestra y presumiblemente el método de aplicación de los diferentes pesos para realizar la medición que se relaciona directamente con el comportamiento reológico del producto medido.

Figura 6: Gages R&R sistema de aprobación de barnices base aceite

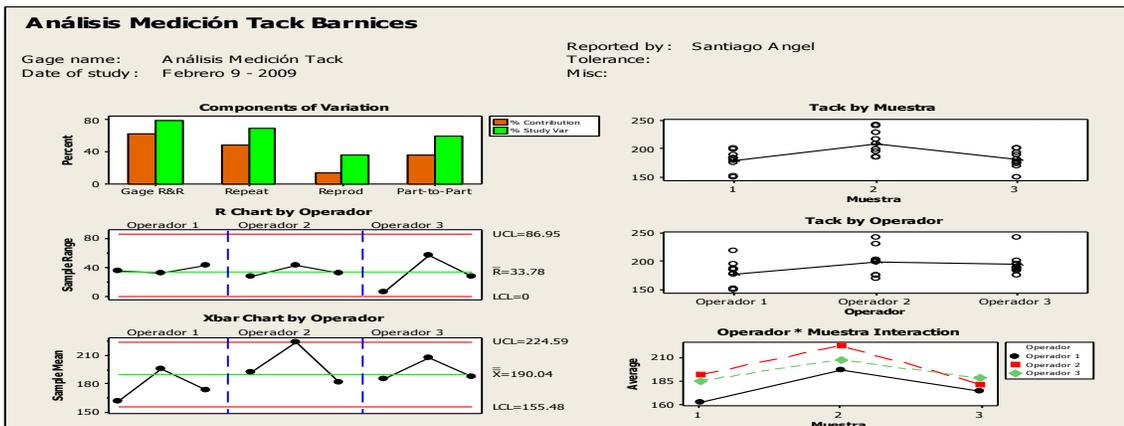
a) Viscosidad



b) Rigidez



c) Tack



El resultado obtenido para la medición del tack o tiro del barniz genera un poco mas de preocupación dentro del equipo de trabajo pues presenta una variación del 63% debida al sistema de medición, 13,94 por reproducibilidad y 49.77 para repetibilidad, el restante 37% de la variación es aportada por la muestra (figura 6c), cuando, de manera ideal, esta última componente debería ser la de mayor influencia para garantizar un sistema adecuado de medición.

Para esta última propiedad influencia del operador en la reproducibilidad es significativa, esto se nota en la gráfica "Tack by Operador", en la que no se observa una linealidad para los tres operadores, según el resultado obtenido, el analista de calidad aporta un 13% de la variación a la medición.

Respecto al aporte de la repetibilidad, que es del 50% de la variación total, ésta puede ser atribuida a la descalibración del equipo. De este problema se apersonó el equipo de Área Técnica, encargado directamente de la sección de Control Calidad, la calibración del equipo pasará de ser trimestral a ser mensual debido a la alta frecuencia de uso a la que el equipo está expuesto y a su alta sensibilidad y facilidad de descalibración. Con esta medida se busca garantizar que el equipo tenga la capacidad de medir el proceso de fabricación, no solo de barnices sino también de tintas, específicamente el Tack, y que las componentes de variación debido a repetibilidad y reproducibilidad de la medición disminuyan su participación en la variación total de la medición del Tack.

3.2. FASE 2: ANÁLISIS PRELIMINAR DEL PROCESO

3.2.1. RECOLECCIÓN DE DATOS DE PROCESO

Durante el desarrollo de la primera fase del proyecto se tomaron los datos correspondientes a tiempos y niveles de temperatura de cada una de las operaciones del proceso de fabricación de los barnices seleccionados como Pareto (80% de la producción), además de los valores de aprobación de propiedades reológicas (viscosidad, rigidez, tack). Al concluir el periodo de recolección de datos de proceso, se tomaron datos para 65 órdenes de trabajo diferentes. La información reportada en 30 de estas órdenes no se consideró confiable debido a algunas irregularidades observadas en ésta.

3.2.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES DE SEGUIMIENTO

La variable considerada por el equipo de trabajo fue un indicador de productividad y/o eficiencia que relacionó la entrada más importante al proceso con la cantidad de producto entregado por el mismo.

La eficiencia, definida como cantidad entregada por unidad de tiempo en minutos (Ecuación 1), fue determinada como variable de seguimiento. Sin embargo un indicador del nivel de calidad de los productos será establecido como variable complementaria o secundaria. Es imposible pensar en el mejoramiento del proceso productivo sin tener en cuenta la alta calidad que el producto debe presentar como fin único del proceso.

$$E = \frac{\text{Cantidad procesada}}{\text{Tiempo productivo}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde la cantidad procesada corresponde al tamaño del lote y se mide en Kg, y el tiempo productivo será el tiempo efectivo de trabajo sobre dicha cantidad, medido en minutos.

3.2.3. ENFOQUE DEL PROYECTO, ETAPAS DE PROCESO

3.2.3.1. MATRIZ DE DESPLIEGUE DE FUNCIONES (MDF)

Se trata de una herramienta de medición, análisis y enfoque del proceso, mediante la cual se podrá obtener una relación y cuantificación del impacto que cada una de las entradas del proceso¹ tiene sobre las características críticas de calidad (CTQ'S) del mismo.

La tabla 3 muestra las entradas que mayor impacto tienen dentro de las CTQ'S, cada entrada genera las condiciones de desarrollo a la operación del proceso a la cual pertenece, de esa manera se obtuvo el diagrama de Pareto (gráfica 2) que permite determinar cuales son las operaciones más críticas del proceso.

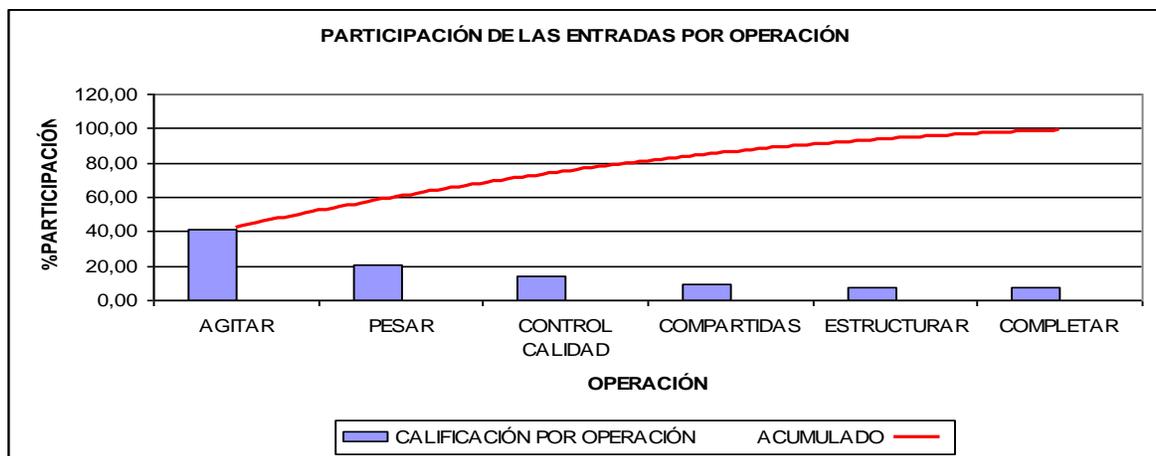
A partir de la gráfica 2, una interpretación simple consiste en afirmar que mejorar la operación de agitación, llevará al incremento de la productividad de la planta, y por definición, a obtener un proceso de alta calidad que cumpla con las especificaciones que el cliente demanda de éste.

¹ Son los recursos físicos, tecnológicos, intelectuales, humanos, incluso salidas de otros procesos, que generan las condiciones necesarias para el desarrollo de un proceso.

Tabla 3: Resultados MDF proceso de fabricación de barnices base aceite (OS.SA: Oscar Sánchez, SA.AN: Santiago Ángel, GU.ME: Gustavo Mendoza, WI.CA: Wilmar Cano, ES.JA: Esteban Jaramillo)

ENTRADAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE BARNICES	CALIFICACIÓN DE ENTRADAS					PROMEDIO	%PARTICIPACIÓN	OPERACIÓN
	OS.SA	SA.AN	GU.ME	WI.CA	ES.JA			
MATERIAS PRIMAS SÓLIDAS(Resinas)	5,8	5,8	7,9	7,3	7,3	6,82	10,95	agitar
OPERARIO	5,8	5,8	5,2	5,2	8,5	6,1	9,80	todas
MATERIAS PRIMAS LÍQUIDAS(Aceites, resinas)	5,8	3,7	7,9	7	4,3	5,74	9,22	pesar
ROTAMIX	6,1	4,6	4,6	5,8	7,6	5,74	9,22	agitar
TEMPERATURAS DE PROCESO (Niveles adecuados)	5,5	6,1	4,6	5,2	6,7	5,62	9,03	agitar
OLLAS DE ESTRUCTURACIÓN(Solo 969446)	4,3	5,8	2,2	4	6,4	4,54	7,29	estructurar
ADITIVOS (Estructurante, otros)	3,7	5,2	4,3	3,4	6,1	4,54	7,29	completar
OLLAS DE FABRICACIÓN	4,3	5,5	2,8	4	5,5	4,42	7,10	agitar
EQUIPOS DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES	4,6	3,1	5,5	3,4	4,9	4,3	6,91	control calidad
ANALISTA DE CALIDAD	1,9	3,1	5,8	4,3	5,8	4,18	6,71	control calidad
BÁSCULA	3,7	3,7	3,1	3,7	4,6	3,76	6,04	pesar
SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VAPORES	3,1	3,1	2,5	3,1	4,6	3,28	5,27	agitar
ORDEN DE TRABAJO	4	3,4	2,5	3,1	3,1	3,22	5,17	pesar

Gráfica 2: Pareto MDF, impacto de operaciones sobre las CTQ'S



Sin embargo, aunque la agitación sea la operación que más aporta al cumplimiento de las CTQ'S, la pesada y los chequeos en Control Calidad complementan el grupo de las etapas críticas del proceso, juntas estas tres operaciones impactan en un 76% el cumplimiento de las características más importantes que el cliente espera del proceso y del barniz como tal.

3.2.3.2. ANÁLISIS DE TIEMPOS

El tiempo real promedio de proceso es de 7.10 h, el tiempo productivo, es decir, el tiempo de ejecución de cada una de las operaciones es de 5.3 h. La conclusión que generan los datos respecto al tiempo muerto del proceso completo es manejable y razonable, en promedio este tiempo corresponde a 1.6 h, y una desviación estándar de 1.4 h. El resultado anterior² reside mayoritariamente en la operación de la pesada y en Control Calidad, los mecanismos utilizados para desarrollar ambas operaciones tal vez no sean los óptimos y son susceptibles a mejoras sustanciales. En la operación de agitación los tiempos improductivos son casi nulos, debido a que esta operación es en su mayoría desarrollada por la máquina de agitación, el Rotamix, que independiente de la presencia o no del operario cumple con su función de agitar la mezcla resinosa.

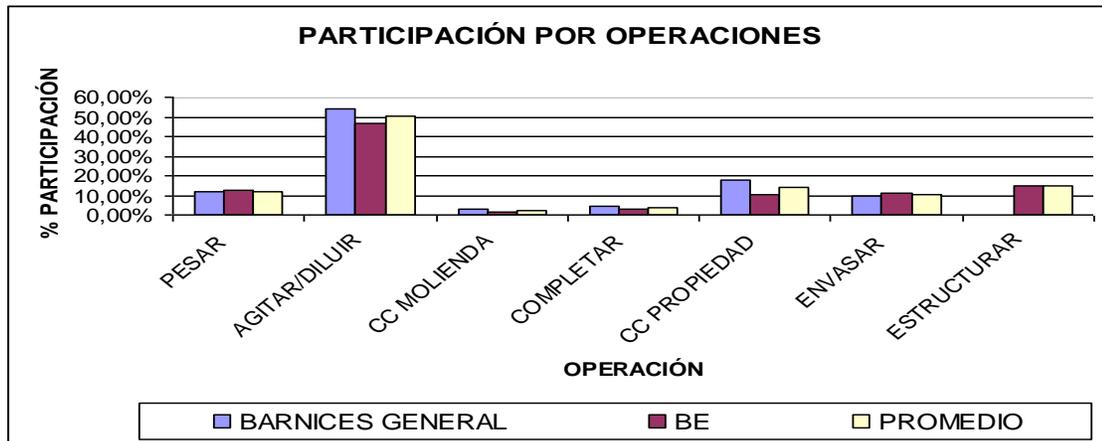
La participación promedio de cada una de las operaciones en el tiempo productivo y el tiempo que estas toman en promedio se presenta en la gráfica 3 (a,b).

La operación que mayor tiempo requiere es la agitación, representa un 50% de el tiempo productivo total, en esta etapa se adicionan las resinas sólidas a la mezcla de aceites y resinas líquidas, y es llevada a cabo para los cuatro barnices de la misma manera, teóricamente, seguida por los chequeos de calidad y antecedida por la pesada de las materias primas líquidas, de manera tal que es allí en donde se concentrarán los esfuerzos para mejorar, si la productividad allí se logra incrementar, seguramente su efecto sobre la productividad del proceso será significativo y se dará cumplimiento a los objetivos planteados por el proyecto.

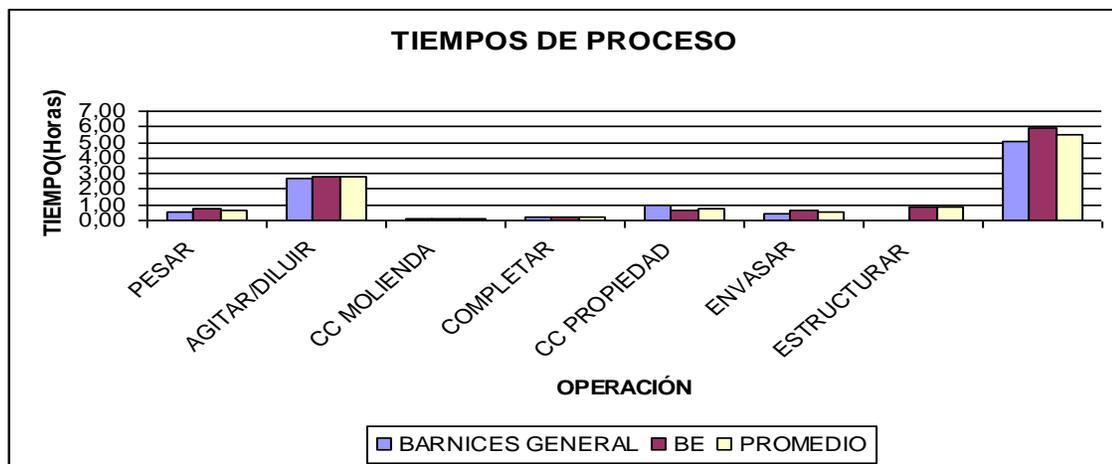
² Datos obtenidos a partir de la información reportada en las 35 órdenes de trabajo recolectadas en la primera fase. Estos valores son usados como caracterización inicial del proceso.

Gráfica 3: Participación de operación en el tiempo productivo de fabricación de barnices

a) % de participación por operación



b) Tiempos de Proceso



Adicionalmente se puede hacer un análisis de variabilidad³, nuevamente el resultado refleja que la mayor desviación se presenta para estas tres operaciones con promedios de 0.7 h (Agitar/calentar), 0.5 h (control calidad) y 0.2 h (pesar).

³ Se toma la desviación estándar de los tiempos de proceso recopilados en la fase inicial del proyecto como medida de la variación de cada operación.

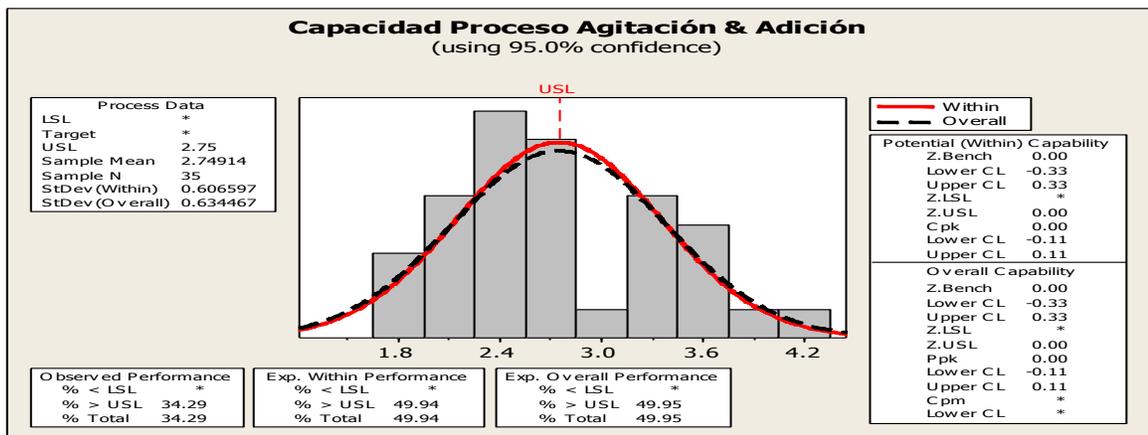
3.2.3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PROCESO

3.2.3.3.1. OPERACIÓN DE AGITACIÓN

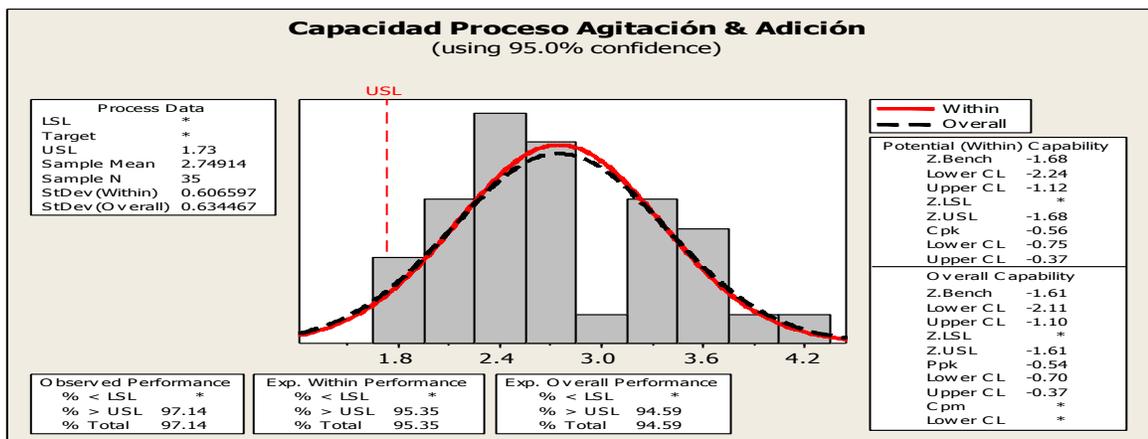
Para optimizar un proceso productivo debe primero conocerse las condiciones iniciales sobre las cuales opera, es decir, su comportamiento normal, para de acuerdo a éste desarrollar mediante diferentes estrategias acciones que optimicen su operación.

Figura 7: Capacidad de proceso inicial de la etapa de agitación

a) Especificación: 2.75 h (Valor promedio observado)



b) Especificación: 1.73 h (valor mínimo observado)



Si se establece como especificación de tiempo para la operación de agitación un límite superior de 2,75 h, correspondiente al valor promedio de esta operación, la figura 7a muestra un proceso centrado, sin embargo su variación natural, enmarcada por la campana, es muy amplia. Bajo esta especificación el 49.95% del proceso se desvía, en este caso, está por encima de la especificación. Según la figura 7a el 50% restante de los datos se encuentran por debajo de este valor, además entre 2 h y 2.4 h se nota una mayor concurrencia de los datos que reflejan el proceso. Tomando como especificación el valor mínimo de tiempo observado en los datos (figura 7b), se nota que el 97% de los datos están por encima de ésta, de manera que fijarla como límite superior de tiempo de agitación es inadecuado pues de acuerdo a los datos el proceso no está en capacidad de responder a esta especificación.

Dos horas parece ser un tiempo prudente de operación y fue fijada como especificación para esta operación. De acuerdo a la participación de la agitación en el proceso completo, 50% del tiempo total, esta especificación permite fabricar un barniz en un tiempo aproximado de cuatro horas, incrementando notablemente la productividad de la planta.

3.2.3.3.2. ROTAMIX

Se planteó como hipótesis nula que no existían diferencias entre la eficiencia de operación media observada para cada Rotamix. Como resultado de la prueba de hipótesis⁴ se obtiene un p-valor de 0.003 indicando que en efecto existen diferencias significativas entre ambos Rotamix, atribuidas principalmente al estado mecánico de los equipos de agitación, a las dimensiones de los recipientes y a la

⁴ Una prueba de hipótesis es una afirmación acerca de los parámetros de una población, la hipótesis nula propone que cualquier diferencia entre el estadístico y el parámetro es causado por el azar o fluctuaciones de la muestra mientras la hipótesis alterna propone lo contrario, ésta última es la hipótesis que el investigador quiere probar. Para rechazar la hipótesis nula $P\text{-valor} < \alpha$.

ubicación de las parrillas de calentamiento dentro de estos. El aceite térmico utilizado para el calentamiento se descarta como fuente de variación pues su estado es igual para ambos recipientes, es decir, el cambio de aceite se hace en el mismo momento para ambos, si se presenta esta necesidad. La eficiencia agitación promedio del Rotamix 1 es de 4.310 Kg/min y para el Rotamix 2 de 5.97 Kg/min, evidenciando así el resultado de la prueba de manera más comprensible (anexo 7). El resultado es confiable a un nivel de 95%.

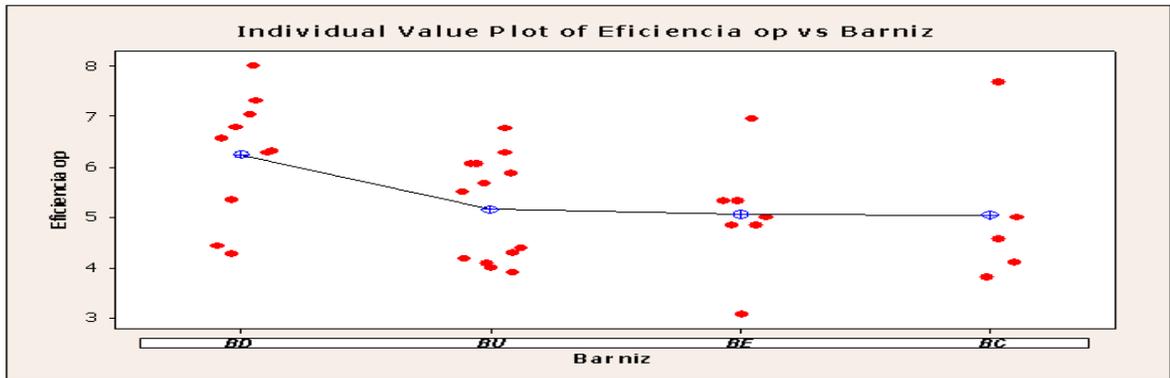
Para desarrollar el diseño de experimentos debe bloquearse la variable Rotamix con el fin de no confundir la variación generada por ésta con alguna otra fuente de variación.

3.2.3.3.3. BARNIZ

Se corrió una prueba de hipótesis con el fin de evaluar la incidencia de cada referencia en la eficiencia de la operación de agitación, el resultado permitió concluir que tales diferencias no existen (anexo 6), dado un p-valor de 0.107. La figura 8 muestra este resultado de manera gráfica. A pesar de que la eficiencia de operación para el BD es un poco más alta debido a su alto contenido de aceites solubles con la resina fenólica, esta diferencia no es significativa. Respecto a los tres barnices restantes se nota un valor promedio muy similar.

De acuerdo a este resultado, es posible correr las pruebas del diseño de experimentos sin importar que barniz se esté trabajando, pues estadísticamente no hay diferencia en la eficiencia de operación de cada uno de los barnices en cuestión.

Figura 8: Valores promedio de eficiencia de agitación para cada Barniz



3.3. FASE 3: MEJORAR, CONDICIONES ÓPTIMAS DE FABRICACIÓN

3.3.1. PESAR/CARGAR

La pesada en general puede considerarse una operación que genera en buena parte ineficiencias al proceso, así como alta variación, su desviación estándar de acuerdo a los datos tomados es de 0.18 h y su tiempo promedio de ejecución corresponde a 0.68 h (gráfica 3b). De esta manera puede notarse que la variación representa el 26% del tiempo promedio de la operación.

En esta operación existe una gran inconsistencia en el tiempo de cargue entre un lote y otro, lo que sin duda es generador de variación para el proceso cuando esta inconsistencia se hace considerable, según los datos de proceso tomados en la primera fase, representa alrededor de 26% del tiempo promedio lo que refleja que la pesada se puede llevar a cabo en ocasiones en 30 minutos y en otras en una hora. Esta operación es determinante para la calidad de los productos, las cantidades reportadas en la orden deben ser pesadas exactamente para garantizar en gran medida las propiedades del barniz que permitan su aprobación como un producto de alta calidad.

Para pesar las cantidades exactas que la orden reporta, la planta debe contar con una báscula calificada para ello, es decir, ha de estar calibrada, su periodo de calibración debe ser justo y su división de escala pertinente de acuerdo a la cantidad de una determinada materia prima que se pese.

Sobre la calibración de la báscula con la que cuenta el proceso no se presentan mayores inconvenientes, según el programa de calibración de la compañía, ésta se calibra mensualmente de modo preventivo, nunca correctivo, por tanto se garantiza la linealidad de las mediciones llevadas a cabo en la báscula de la planta de barnices.

La división de escala sin embargo, puede representar un problema para la operación de pesada, la capacidad de la báscula al empezar el proyecto era de 1500 Kg y su división de escala de 500 gramos, así concebido el sistema de pesaje, no se recomienda pesar cantidades inferiores a 50Kg (3% de su capacidad) (anexo 4) en ésta, ya que se pueden presentar variaciones significativas entre la cantidad real pesada y la que marca la báscula.

En la fabricación de algunos barnices, se pesan en la báscula disponible, algunos componentes cuyas cantidades son inferiores a 50 Kg, incluso para el barniz BD se pesan 2.7 Kg de uno de los componentes de éste. Si la división de escala es de 500 g, el valor de salto está entre 200 g y 300 g, entonces dependiendo de la región de medición, se pueden cometer errores hasta de un 20% de exceso o defecto (cantidades inferiores a 5Kg) de las materias primas que se deben adicionar, esto es representativo y sin duda genera desviaciones de calidad en los barnices, pues aunque se trate de sustancias que van en pocas cantidades dentro del barniz, su acción es bastante específica y cualquier defecto o exceso genera diferencias significativamente grandes en el desempeño del barniz así fabricado. Otro caso particular es el de la cantidad de estructurante que se debe adicionar al

barniz BE y que es determinante para su calidad, esta cantidad debe ser exacta y de acuerdo a las características anteriormente mencionadas de la báscula, excesos o defectos de ésta se pueden presentar.

Se analizó la demanda de operación que la báscula presenta y se detectó que en ésta no se pesan cantidades superiores a una tonelada, por tanto la capacidad de la báscula puede ser llevada a este nivel y así la división de escala puede ser también disminuida a 200 g, disminuyendo el error al pesar cantidades pequeñas (< 5 Kg) aproximadamente al 10% dependiendo de la cantidad pesada. Esta medida fue aceptada y la báscula en la actualidad opera bajo estas últimas condiciones (anexo 5).

Es recomendable contar con una balanza con capacidad de 50 Kg, a pesar de sacrificar un poco la capacidad de la báscula para disminuir su división de escala y así evitar un poco el error generado al pesar cantidades inferiores a 40 ó 50 Kg, este esfuerzo aún no permite pesar las cantidades exactas que la orden requiere.

El otro problema que se tiene dentro de la operación de pesada es lo rudimentario que se hace el trabajo, la báscula no está acoplada al recipiente de fabricación y por tanto los componentes del barniz deben ser pesados inicialmente, muchas veces trasvasados de un tanque a un tambor, transportados de manera manual y entonces cargados al recipiente, generándose altas ineficiencias que estas tres actividades introducen al proceso. Una solución que puede considerarse para disminuir en un 50%⁵ aproximadamente el tiempo de pesada y cargue, sería acoplar ambas actividades mediante el uso de celdas de carga en los recipientes de fabricación, de esta manera mientras se carga se pesan los materiales.

⁵ El tiempo de trasvase de las materias primas, previo al cargue de las mismas en las ollas de fabricación representa aproximadamente el 50% del tiempo de la operación, eliminando esta actividad el tiempo de la pesada disminuirá en la misma proporción.

3.3.2. AGITAR/CALENTAR

Como se presentó antes, es ésta la operación cuya optimización representará mayores mejoras al proceso por su alto porcentaje de participación dentro de éste, es entonces la operación crítica tal cual fue definida anteriormente y se busca incrementar notablemente la productividad de la planta mediante la optimización directa de esta operación.

3.3.2.1. CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN

Las variables que se consideraron influyentes o que aportaban variación al proceso fueron básicamente 3, una de bloque, el Rotamix (numeral 3.2.2.3.2), y dos factores directos de evaluación, el modo de adición de la resina y la temperatura de adición de ésta. Otros factores fueron fijados de acuerdo a las condiciones que el proceso lo permite y a algunas especificaciones y/o recomendaciones dadas por el Área Técnica, como ejemplo, la temperatura inicial del proceso debería estar entre 35°C y 40°C⁶, la temperatura final no debería exceder 180°C y los ensayos fueron llevados a cabo por un solo operario.

Los dos factores principales se trabajaron a dos niveles cada uno mediante un diseño factorial 2^k con punto al centro. Para la carga de resina se evaluaron niveles de 0.5 y 0.25, es decir, la carga total de la resina según la orden de trabajo, se agregó en sub-lotes uniformes, dos de 50% de la carga total (0.5) y cuatro de 25% de la carga total (0.25), el tiempo de adición de la resina fue de 30 minutos para todos los ensayos. La temperatura de adición de resina fue de 90°C y 110° C, de acuerdo a la literatura y a las recomendaciones del Área Técnica.

⁶ Se adoptó esta medida para garantizar la veracidad de los resultados obtenidos al llevar a cabo cada ensayo, la temperatura inicial de todos los ensayos se ajustó a estos valores. El cargue inicial de aceites y resinas líquidas genera temperaturas alrededor de 38°C cuando la olla está caliente previo al cargue.

Todas las combinaciones entre estas variables fueron consideradas y corridas por duplicado. Adicionalmente se evaluó el punto central (0.375-100°C) con 4 repeticiones para éste con el fin de evaluar la posible curvatura existente y descartar o validar un punto central como óptimo de operación. Se bloqueó la variable Rotamix al considerar que éste no puede hacer parte de un modelo óptimo de operación, es decir, el barniz debe fabricarse en la máquina que esté disponible, sin embargo esta variable, como se probó anteriormente, influye en la operación de manera significativa y por tanto debe ser considerada como bloque en el diseño de experimentos para no adjudicar la variación que ésta aporta a alguna de las otras variables de estudio, en términos mas generales, para disminuir el error estadístico del diseño.

La tabla 4 presenta los resultados obtenidos en el diseño de experimentos.

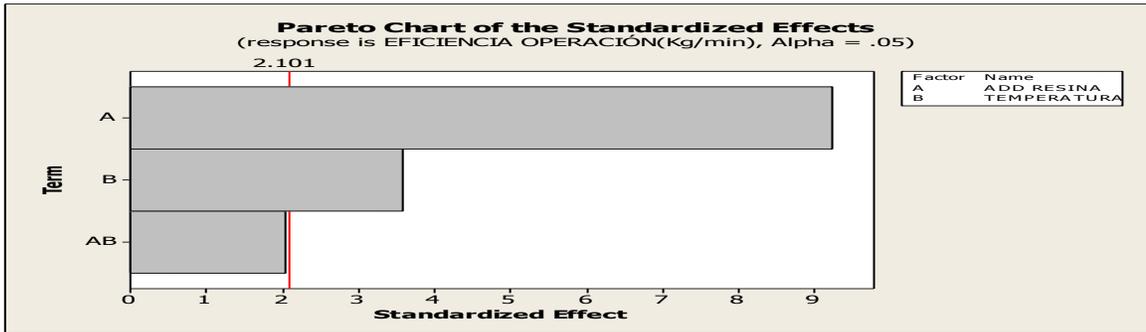
Tabla 4: Resultados DOE para eficiencia de operación, los campos subrayados representan la desviación estándar del tratamiento.(*). Ensayos no realizados

TEMPERATURA ADICIÓN DE RESINA SÓLIDA(°C)				
FRACCIÓN ADICIÓN DE RESINA SÓLIDA	0,25	90	100	110
		5,993	*	4,54
	<u>0,999</u>	*	<u>0,3412</u>	
	0,375	*	5,701	*
		*	<u>0,2085</u>	*
	0,5	7,718	*	7,332
		<u>0,2257</u>	*	<u>0,7786</u>

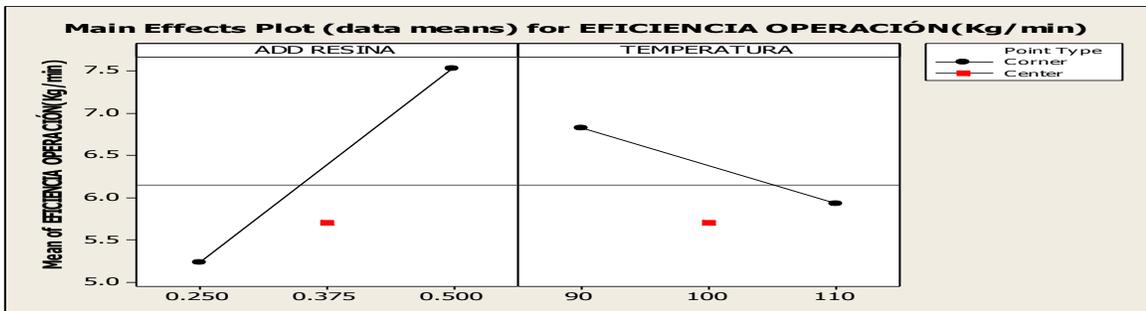
De la figura 9, ambos factores presentan una influencia significativa en el proceso, la interacción entre estos no tanto así, aunque la figura 9c muestra algún tipo muy tenue de interacción, denotado por la diferencia en la pendiente en ambas líneas, estadísticamente no es significativa.

Figura 9: Resultados DOE, Condiciones óptimas de operación.

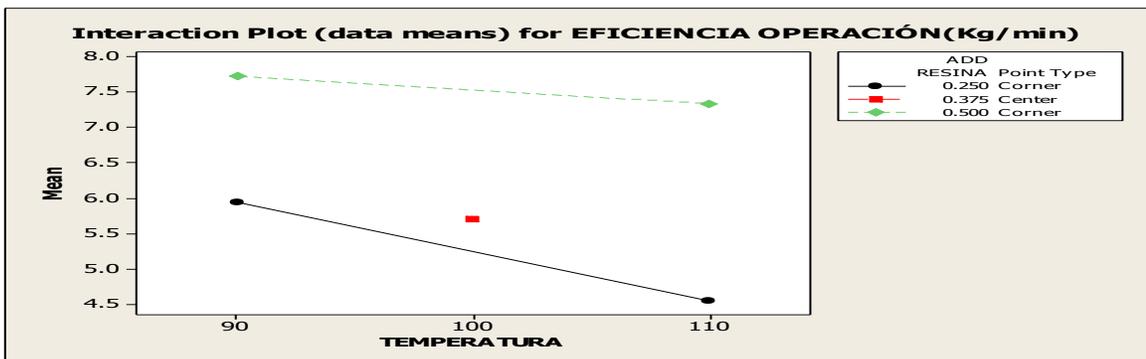
a) Diagrama de pareto de efectos principales



b) Efectos principales



c) Interacción entre variables



La resina es el factor que más altera la eficiencia de operación, según los resultados adicionando el 50% de la carga total de la resina y 30 minutos después adicionado el restante 50% se logra incrementar la eficiencia de la operación de agitación. Este resultado se puede atribuir a que de este modo la saturación de la

mezcla es menor y se puede presentar una mejor incorporación de la resina sólida en la mezcla líquida y así la mezcla generada presenta la especificación de molienda (evaluación de grumos y rayas) en un menor tiempo. La eficiencia media que se logra mediante este modo de adición es de 7.5 Kg/min, 2.2 Kg/min por encima de la media inicial del proceso.

Respecto a la temperatura, el resultado más conveniente para los intereses de optimizar la operación se presenta a 90°C, sin embargo, para este factor es necesario explicar lo siguiente. No se logra disminuir el tiempo de la operación si la resina se adiciona a 110°C como se pensaría, solo se retrasa un poco el tiempo de adición de la resina, ciertamente a 110°C la resina estará más cerca de su punto de ablandamiento por lo que será más rápida su “fusión” pero, no es esto suficiente para que la mezcla presente buena molienda, la cizalladura y la turbulencia que genera el Rotamix en la mezcla permiten a la resina incorporarse mucho mejor en la mezcla líquida. Los resultados muestran que este resultado debe ser interpretado tanto desde el punto de vista del tiempo de contacto de la resina con el Rotamix como desde la temperatura de ablandamiento de la resina. Entre 90°C y 110°C pasan aproximadamente 25 minutos, si la resina es adicionada a 90°C, durante estos 25 minutos la mezcla estará en constante agitación por parte del Rotamix permitiendo a la resina una mejor incorporación debido a que la cizalla generada sobre los granos de resina disminuye su tamaño, y así, ha generado un incremento en su área de intercambio por lo cual la transferencia de materia y energía con la mezcla líquida será mayor, una vez llegue a 110°C tendrá mucha mayor facilidad de ablandamiento si se compara con el caso de haberla adicionado a esta última temperatura. De esta manera se explica que el mejor resultado se presente a 90°C. La media para este nivel de temperatura es de 6.825 Kg/min, la media a 110°C es de 5.936 Kg/min, lo que refleja la menor influencia de este factor comparado con el modo de adición de la resina.

El punto central evaluado permitió observar la presencia de curvatura en la respuesta, sin embargo la combinación 0.375-100°C no fue valorada como óptimo de operación, una eficiencia media de 5.701 Kg/min, apenas por encima de la media inicial de la operación fue el resultado obtenido para este punto.

Para el 67% de los ensayos realizados se obtuvo productos de calidad 1 A, es decir, no requirieron ningún tipo de ajuste a su formulación para garantizar que sus propiedades estuviesen dentro de las especificaciones fijadas por el Área Técnica. Dentro de este grupo se encuentra el 100% (cuatro ensayos) de los ensayos desarrollados a los niveles óptimos de ambos factores, es decir, bajo la combinación 50% resina-90°C. Otro 12.5% tuvo calidad 1, requiriendo ajustes mínimos de aceites, inferiores al 2% de la carga total del lote para corregir desviaciones en sus propiedades [11], y el restante 20.5% presentó calidad 2, un ajuste mucho mas marcado, generalmente de aceites, para obtener barnices bajo especificaciones técnicas. El 90% de los barnices que presentaron calidad 2 corresponden al barniz BD, que en todos los casos tuvo una retención de 2.9% de aceite mineral para que tuviera las propiedades requeridas por la especificación de este producto. Considerando que se trata de una causa asignable y repetitiva de variación de propiedades, sería conveniente revisar su formulación y realizar los cambios que se consideren pertinentes por parte de los encargados de esto.

La temperatura final del proceso de agitación es un aspecto que debe ser controlado con el fin de evitar alteraciones en la calidad de los productos a causa de la evaporación o degradación de alguno de sus componentes, por ejemplo los aceites o algunos aditivos volátiles. Por ello el Área Técnica recomienda no exceder temperaturas cercanas a los 160°C. Cuando se agregaron dos cargas sucesivas equivalentes cada una al 50% del total de la resina sólida, la temperatura final promedio, independiente de la temperatura de adición, fue de 149.75°C. Cuando las adiciones sucesivas fueron cada una de 25% de la carga

total, la temperatura alcanzó incluso 170°C para tener el grado de molienda requerido, el valor promedio de todos los ensayos fue de 156°C. Para la combinación 0.5-90°C la mezcla presentó una buena molienda y pasó a ser completada con los aceites a una temperatura promedio de 147°C, siendo esta combinación la que presentó valores más bajos para esta variable.

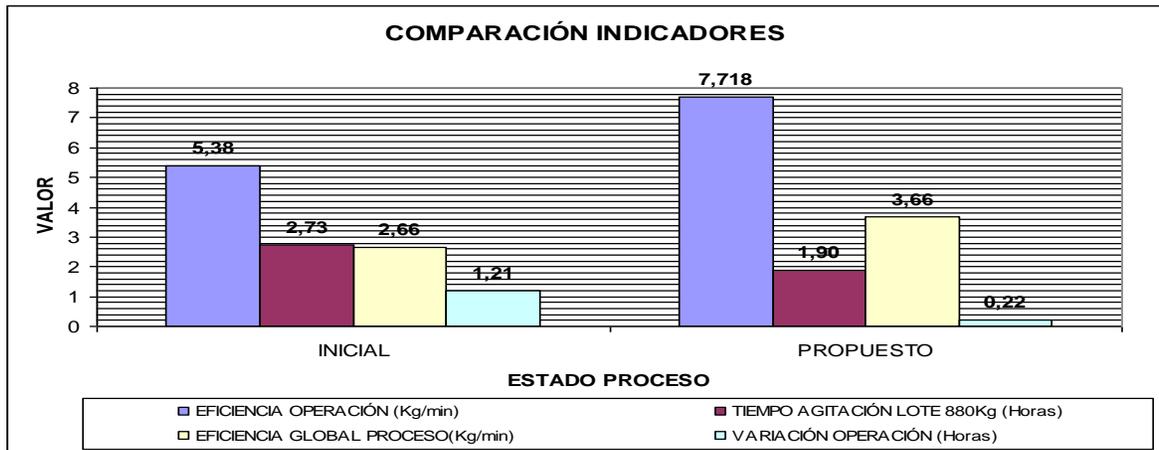
De esta manera se fija la combinación óptima de los factores que permiten el valor más alto de eficiencia para la operación de agitación, la adición de resina a cargas del 50% del total, distanciadas 30 minutos la primera de la segunda, a una temperatura de 90 °C presenta una eficiencia de operación de 7.718 Kg/min que genera un incremento de 43% en la eficiencia de la operación, tomando ésta 50 minutos menos para su desarrollo, y entre 30% y 35% en la eficiencia global del proceso, dependiendo del barniz, comparado con el estado inicial de éste⁷. Claramente, debe asegurarse un barniz de excelentes propiedades de calidad y en efecto, los productos fabricados mediante este tratamiento fueron aprobados con calificación 1A, la máxima calificación de calidad dentro de la compañía.

La combinación óptima presenta una variación de 0.22 kg/min que si bien no es la variación más baja según los resultados obtenidos, si se compara con 1.21 Kg/min de la operación en su estado inicial, representa un avance muy importante, 80% de disminución, en términos de eficiencia y estandarización del proceso.

La gráfica 4 presenta los indicadores más importantes y la comparación con base en estos entre el proceso en su estado inicial y el modo de operación que plantea el presente proyecto.

⁷ Eficiencia promedio de agitación inicial= $880/(2.75 \text{ h} \cdot 60)=5.33$, Eficiencia Promedio Global de proceso inicial= $880/(5.52 \cdot 60)=2.66$. Para el cálculo se tomaron los tiempos promedio reportados en la gráfica 3b.

Gráfica 4: Comparación entre el proceso inicial y propuesto basado en indicadores de eficiencia, tiempo y Variación



3.3.2.2. SISTEMA DE CALENTAMIENTO

El Área de Mantenimiento presentó en el año 2007 un estudio comparativo entre dos sistemas de calentamiento de los dos recipientes de fabricación [14], el actual, que utiliza cuatro resistencias eléctricas en cada recipiente, y un sistema alternativo que utilizaría gas natural como fuente de energía.

Para la elaboración del informe se contrató un análisis previo para medir el consumo real de energía eléctrica en la zona de barnices en una jornada de 6:00 a.m. a 4:00 p.m, el turno normal de operación de la planta, instalando el instrumento de medición durante tres días.

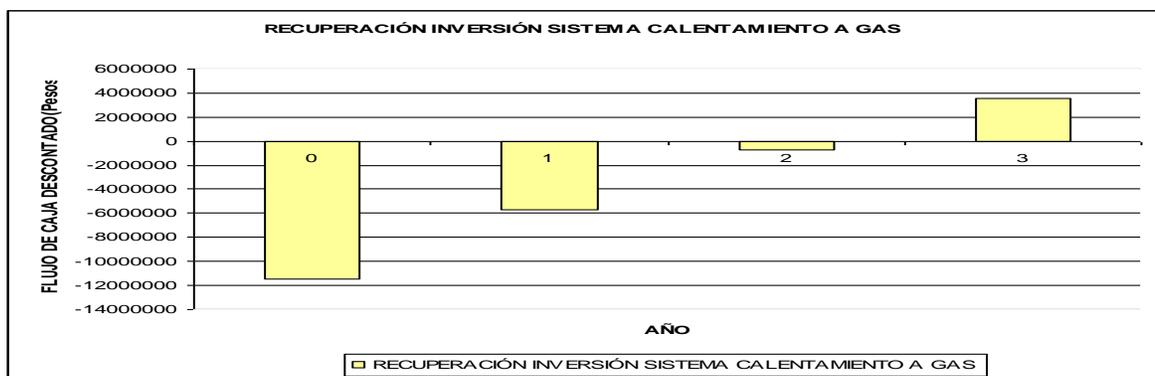
Se encontró que el consumo real de energía eléctrica fue de 180 KW-h/día promedio, al tomar 22 días del mes, tiempo promedio de operación de la planta, se consumen 3960 KW-h/mes [14].

Para la fecha del estudio, el costo de 1 KW-h fue de 195 pesos [14], lo que representaba un costo por electricidad al año de 9'266.400 pesos.

Con gas natural, a un costo de 54.31 pesos por KW-h [14], el costo anual por concepto de energía sería de 2'580.811 pesos, representando así un ahorro anual de 6'685.589 pesos por año.

Bajo una inversión inicial cotizada en 11'460.600 de pesos que consta de la adecuación de la red de gas (8'260.000) y de la conversión de los recipientes a gas natural (3'200.000) [14], a una tasa de interés del 16% e.a.⁸, la inversión de capital sería recuperada en 2.17 años según se muestra en la gráfica 5. Tras 5 años de operación de la planta bajo este sistema de calentamiento se obtendría una relación presente beneficio/costo⁹ de 1.91, que indica que por cada peso invertido se recuperan, en este caso, 1.91 pesos, esta relación crece a medida que pasa el tiempo.

Gráfica 5: Flujo de caja descontado para el sistema de calentamiento a gas del proceso de fabricación de barnices base aceite



⁸ La tasa mínima de retorno que exige la compañía para cualquier inversión es de 15% e.a.

⁹ El valor presente neto es altamente influenciado por la inversión inicial de capital, la relación presente costo/beneficio se convierte en un mejor criterio para la evaluación de proyectos [15], PVR (Present Value Ratio)=valor presente de flujos positivos/valor presente de flujos negativos.

Esta alternativa de ahorro para el proceso no atenta contra la seguridad de éste o contra su comportamiento óptimo. Se plantea a modo de referencia y con el ánimo de que sea tenida en cuenta para futuros proyectos de inversión dentro de la planta de fabricación de barnices. Este estudio fue desarrollado en 2007, por tanto no debe ser asumido de manera literal en años posteriores.

3.3.3. CONTROL CALIDAD PROPIEDADES

3.3.3.1. MÉTODO DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS

Se desarrolló un análisis estadístico que permitiera verificar si existen diferencias entre el método actual (tradicional), en el que para la medición, los pesos se utilizan en orden descendente, y el método que plantea el comité de expertos en reología de la asociación europea en el que se propone, para minimizar el efecto que sobre las propiedades reológicas ejerce la naturaleza tixotrópica de los barnices¹⁰, utilizar inicialmente el peso más grande, luego el más pequeño, después el segundo más grande y así sucesivamente [4].

Para ninguna de las dos propiedades (viscosidad y rigidez) se presentan diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos de medición, los valores de p-valor de 0.137 y 0.599 para viscosidad y rigidez (anexo 9), respectivamente, así lo sugieren.

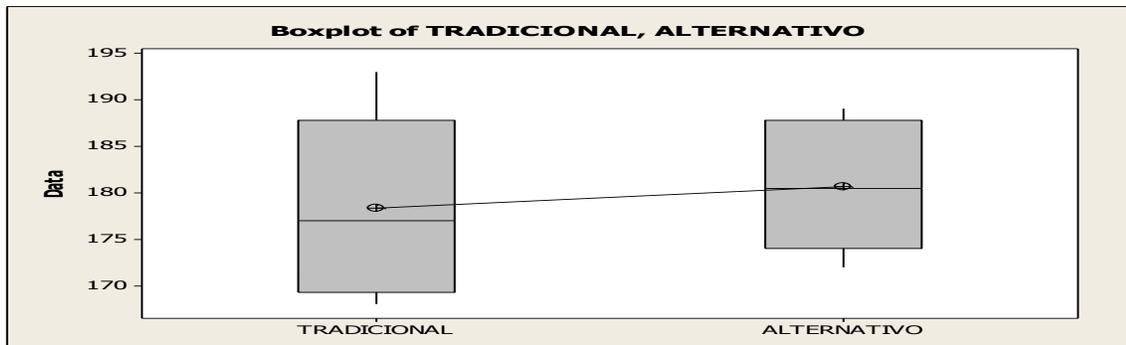
Como se nota en la figura 10, la variación existente en la medición de la rigidez es más alta que aquella que se induce cuando se mide la viscosidad para un método determinado, por tanto una pequeña variación de la viscosidad medida dará pie a una desviación algo más considerable en la rigidez del barniz. Esta alta variación

¹⁰ Este tipo de fluido No Newtoniano presenta una viscosidad elevada al comienzo, una vez es sometido a un esfuerzo cortante constante la viscosidad aparente cae al transcurrir el tiempo.

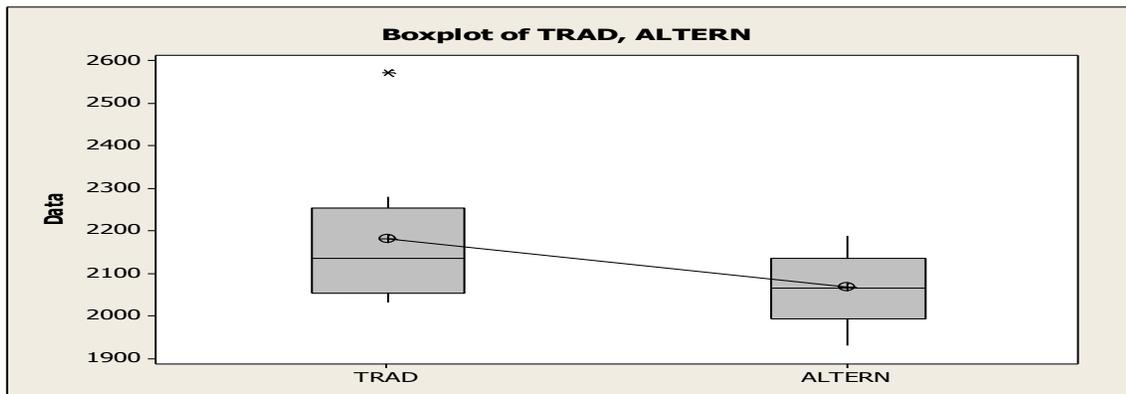
en la medición puede dar cabida a ajustes innecesarios, es decir, es la incertidumbre de la medición la que presenta el producto como defectuoso.

Figura 10: Resultados comparación de medias métodos tradicional y alternativo de medición de propiedades

a) Viscosidad Exponencial (*Poises*)



b) Rigidez ($\frac{Dina}{Cm^2}$)



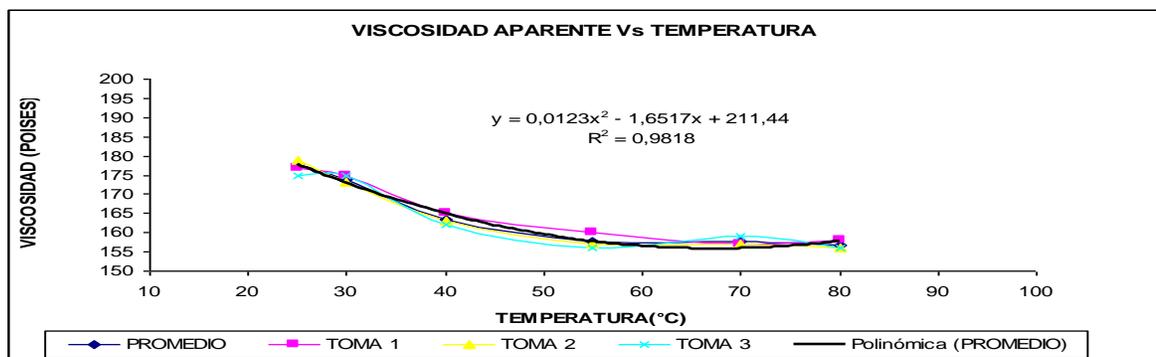
Aunque ambos métodos presentan valores medios para esta propiedad que estadísticamente son iguales, el método denominado aquí alternativo, presenta menor variación, además dados sus valores más bajos de rigidez aparente, en efecto evita de alguna manera el efecto tixotrópico de la medición, lo que la dota de mayor credibilidad. Este último resultado también puede notarse en la figura 10 a, en la cual con el método tradicional se obtienen valores más bajos de

viscosidad que evidencian la disminución de ésta debido a los esfuerzos cortantes de mayor magnitud generados en la medición así llevada a cabo.

3.3.3.2. TEMPERATURA DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS

Los barnices de naturaleza aceitosa no presentan un comportamiento diferente al de los demás líquidos respecto a la temperatura, su resistencia a fluir se ve considerablemente disminuida con el aumento de unos pocos grados[8], incluso ésta puede llegar a alterarse en un 10% por cada grado de diferencia [12]. Debe considerarse el efecto de la temperatura en la medición de las propiedades reológicas con el fin de evitar errores en la aprobación de algunos productos o posibles ajustes innecesarios en los mismos.

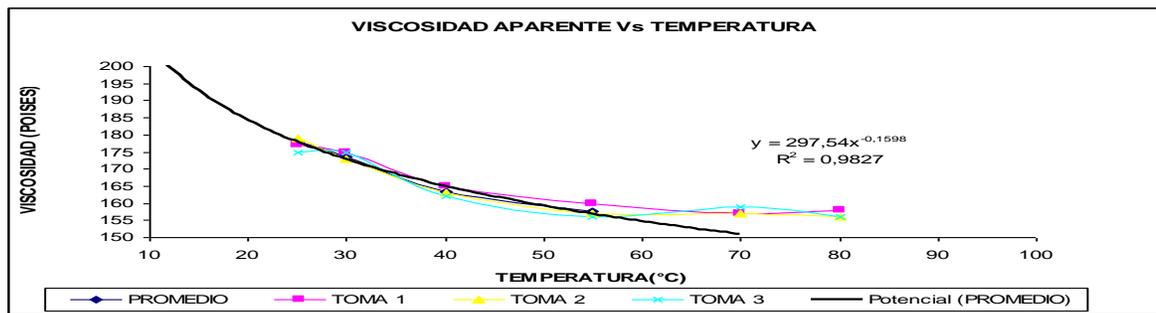
Gráfica 6: Variación de la viscosidad con la temperatura para el barniz BU, modelo cuadrático



En la gráfica 6 se muestra la variación de la viscosidad respecto a la temperatura de aplicación de la muestra para el barniz BU. Un modelo cuadrático parece ser el más adecuado en el rango de temperaturas medido, entre 25°C y 80°C, con un coeficiente de correlación de 0.9818. Sin embargo este modelo por su misma naturaleza matemática no se ajusta a la realidad a temperaturas superiores a los 70°C por lo que debe tomarse con cuidado esta referencia.

Si se anulan los datos por encima de 55°C y se grafica nuevamente, se obtiene una mejor correlación, esta vez los datos se ajustan a un modelo potencial y el factor de correlación es de 0.9827, al extrapolar este modelo se obtienen resultados para la viscosidad más cercanos a la realidad del fenómeno. La gráfica 7 muestra el modelo potencial obtenido.

Gráfica 7: Variación de la viscosidad con la temperatura para el barniz BU, modelo potencial



Este último modelo puede ser válido con mayor certidumbre a temperaturas entre 25°C y 55 °C, más allá de estas temperaturas se trata de una extrapolación del modelo, que aunque parece ajustarse al fenómeno real, no debe ser asumido como totalmente válido pues de acuerdo a la experimentación se desconocen los valores medios reales de la viscosidad medida a altos niveles de temperatura.

De acuerdo al modelo potencial, la viscosidad media aparente del barniz BU a 40°C es de 166 poises y a 25°C de 178 poises, ambas mediciones dentro de las especificaciones técnicas, 0.8 poise/°C es la rata de incremento de la viscosidad aproximadamente según el modelo en esta región de temperaturas. La muestra de barniz es enfriada en contacto con el ambiente, si en el peor de los casos la muestra se deja reposar, ésta toma aproximadamente siete minutos para descender de 120°C a 40°C, si es agitada puede tomar dos o tres minutos menos. A partir de allí, para que la temperatura del barniz llegue a 30°C, la temperatura

mínima a la cual logra llegar la muestra enfriada al ambiente, pueden pasar entre seis y ocho minutos. Para llevar la muestra a temperaturas de 25°C se necesita de un sistema de enfriamiento adicional para la muestra, costoso y según los resultados obtenidos innecesario.

La especificación exige medir las propiedades reológicas a 25°C, sin embargo y de acuerdo a lo anterior, estas se medirán a lo sumo a 30°C dadas las condiciones actuales de enfriamiento de la muestra. El modelo potencial muestra que la variación es mínima entre estos dos niveles de temperatura, cinco poises, por tanto no se considera crítico medir las propiedades a 30°C, siempre y cuando se tenga claro que la propiedad está siendo medida a este nivel de temperatura.

La gran virtud del modelo potencial obtenido, es que permite que la muestra pueda ser medida a 40°C y el resultado obtenido ajustado a 25°C con apoyo de éste¹¹, y de este modo tomar aproximadamente ocho minutos menos en el tiempo del chequeo.

Si se lleva a cabo el chequeo de este modo, la muestra tomará siete minutos para enfriarse a 40°C, aproximadamente cuatro minutos para llevar a cabo el chequeo de propiedades reológicas y cinco minutos para la medición del tack, para un total de 16 minutos efectivos de chequeo aproximadamente¹², 45 minutos menos del promedio de chequeo de propiedades en la actualidad.

¹¹ La medición es de tipo predictivo, una vez desarrollada la medición a 40°C, se utiliza la rata de incremento para determinar el valor a 25°C y se compara con la especificación.

¹² Considerando dificultades de tráfico para la medición, el tiempo de chequeo de propiedades reológicas será de aproximadamente 40 minutos como máximo permisible y de 16 minutos como mínimo técnicamente viable.

3.3.4. FILTRAR/ENVASAR

3.3.4.1. ESTRUCTURA DE LOS FILTROS

La figura 11 corresponde a una fotografía tomada al filtro con el que se lleva a cabo la operación de filtración, el filtro es móvil y presta su servicio a las dos ollas de fabricación de barnices mediante su conexión por acoples a cada una de ellas. La estructura del filtro no favorece la operación de filtración en serie con el que son eliminadas las impurezas presentes en el barniz, al observar la fotografía se nota que debido tramos innecesarios de tubería que el barniz debe recorrer, aproximadamente 1.3 m, se genera una caída de presión considerable¹³ disminuyendo la eficiencia de operación.

De acuerdo a como están contruidos los filtros, se presentan pérdidas de producto en promedio de 4 Kg /lote 880 Kg pues no se cuenta con sistemas de drenaje para tomar estas cantidades que quedan en tubería una vez son filtrados los productos y que deben ser eliminadas previo a la filtración de otro barniz para no alterar su calidad.

Figura 11: Fotografía en planta del filtro utilizado para la filtración de barnices



¹³ La magnitud de las pérdidas friccionales no puede ser determinada debido a la carencia de instrumentación en el equipo que permita la medición de las variables involucradas en el proceso de filtración y a la carencia de recursos económicos para adecuar estos instrumentos en el equipo.

Estos aspectos fueron tenidos en cuenta para la fabricación de un nuevo filtro por el Área de Mantenimiento, en el cual se redujo el tramo inicial de recorrido del barniz hasta la entrada al primer filtro a 45 cm y se instaló un drenaje antes del primer termo para el cuidado de la bomba que debe esforzarse demasiado al inicio de la filtración debido al barniz frío que queda en la tubería. También se instalaron drenajes entre las dos etapas de filtración y al final del sistema para recuperar el producto que allí se deposita y disminuir las pérdidas de éste a 0.5 Kg/ lote 880 Kg. En la figura 12 se muestra el filtro que se construyó bajo las especificaciones anteriormente descritas.

Figura 12: Fotografía del filtro construido para la filtración de barnices base aceite



3.3.4.2. TAMAÑO DE PORO

En las dos etapas en serie de filtración se utilizan filtros de polipropileno de 50 μm de tamaño de poro, generándose así una notable saturación de la primera de las bolsas y haciendo prácticamente innecesario el paso por la siguiente etapa de filtración. Es recomendable utilizar en la primera etapa 100 μm y en la segunda 50 μm , para incrementar la velocidad de filtración y adicionalmente las dos bolsas

pueden ser reutilizadas para filtrar un segundo lote de barniz, disminuyendo así el consumo de bolsas filtrantes en un 33 %, generando ahorros al proceso.

3.3.4.3. OPERACIONES ACOPLADAS

Se construyó un filtro más adecuado para el proceso de filtración como se reportó en el numeral anterior, se propone acondicionar según estas especificaciones aquel que actualmente presta su servicio al proceso, para así tener dos filtros disponibles, uno para cada recipiente dentro de la planta y evitar que un lote sea parado por la falta de equipo de filtración.

3.3.5. ESTRUCTURAR (BE)

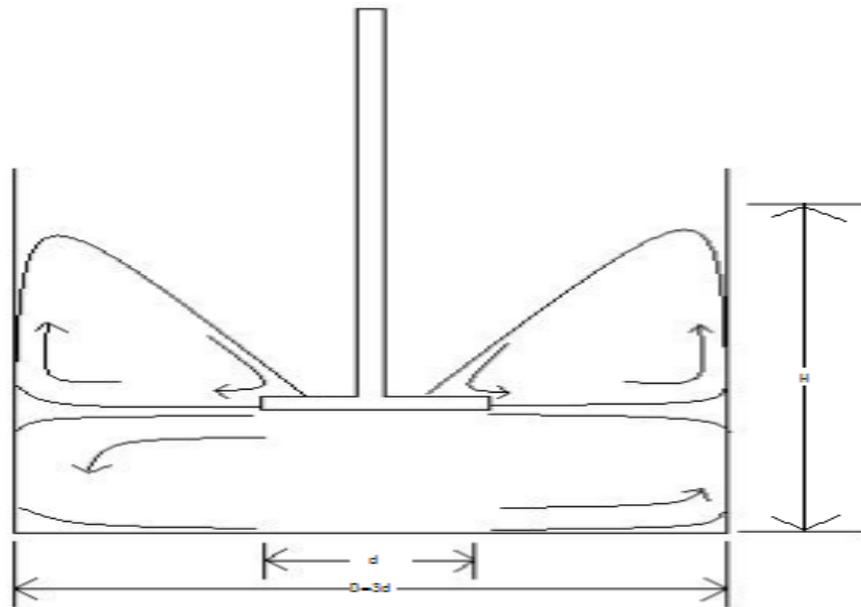
La estructuración del barniz BE es determinante para su calidad, por ello debe desarrollarse de una manera estandarizada y en la medida de lo posible óptima.

Debe adicionarse la cantidad exacta de estructurante que la orden requiere para conservar la composición del barniz de acuerdo a su formulación. Adicionalmente la temperatura de estructuración debe estar entre 115°C y 120°C según la especificación dada por el Área Técnica para esta etapa de proceso [13]. La temperatura después de completar el barniz BE, previo a la estructuración, oscila entre 125°C y 135°C, por tanto el barniz deberá ser estructurado inmediatamente sea filtrado y trasvasado a la olla de estructuración.

La homogenización de la mezcla debe llevarse a cabo mediante un disco Cowles de baja revolución, entre 700rpm y 800rpm, y las magnitudes serán las observadas en la figura 13 [13].

La estructuración debe llevarse a cabo en un solo recipiente, diferente al de fabricación para evitar que el barniz se estructure allí dentro y altere el proceso de fabricación de otros productos.

Figura 13: Dimensiones del recipiente de estructuración para BE



Para disminuir el tiempo que toma esta operación se plantea utilizar la bomba del filtro, para envasar el barniz una vez se haya adicionado el estructurante. Mientras el barniz esté a temperaturas superiores a 80°C ó 90°C y sea agitado, fluirá y podrá ser envasado usando la bomba, disminuyendo el riesgo de accidente que actualmente se corre debido a que el producto es envasado por gravedad levantando las ollas de estructuración, e incrementando la eficiencia del proceso de fabricación tras disminuir el tiempo de la operación hasta en un 60%¹⁴.

¹⁴ 10 minutos de agitación y 10 minutos de envase por bombeo de acuerdo a la capacidad de la bomba, superior a 3Kg/s, el tiempo total de estructuración se reduce a aproximadamente 20 minutos.

3.3.6. PROCESO INICIAL Vs PROCESO PROPUESTO

De acuerdo a los resultados se ha disminuido el tiempo promedio de proceso a 4 h (tabla 5), permitiendo así la fabricación de cuatro lotes por turno, dos en cada recipiente, cumpliendo con la demanda exigida por la planta de fabricación de tintas base aceite. La planta en las condiciones propuestas presenta una capacidad de entrega aproximadamente de 3.6 ton/turno-10 h, fabricando cuatro lotes en 9 h máximo. El proceso en su estado inicial tardaría en entregar 3.6 toneladas, cuatro lotes, entre 11 h y 12 h, requiriendo aproximadamente 14 h de trabajo, generando tiempo extra de trabajo y un 35% menos de productividad.

Tabla 5: Resumen de resultados, % de reducción de tiempos de fabricación (C.C: Control Calidad)

BARNIZ	ESTADO	TIEMPO DE OPERACION (Horas)							
		PESAR	AGITAR	C.C MOLIENDA	COMPLETAR	C.C PROPIEDADES	FILTRAR	ESTRUCTURAR	TOTAL
BE	INICIAL	0,73	2,77	0,09	0,19	0,63	0,67	0,88	5,95
	PROPUESTO	0,42	2,00	0,09	0,19	0,67	0,50	0,33	4,19
	% REDUCCIÓN	42,62	27,88	0,00	0,00	-6,46	24,90	62,54	29,55
OTROS	INICIAL	0,59	2,74	0,13	0,21	0,93	0,48		5,07
	PROPUESTO	0,42	2,00	0,13	0,21	0,67	0,48		3,90
	%REDUCCIÓN	29,23	27,09	0,00	0,00	28,01	0,00		23,16
PROMEDIO	INICIAL	0,66	2,76	0,11	0,20	0,78	0,57	0,88	5,51
	PROPUESTO	0,42	2,00	0,11	0,20	0,67	0,49	0,33	4,05
	%REDUCCIÓN	36,62	27,49	0,00	0,00	14,10	14,51	62,54	26,61

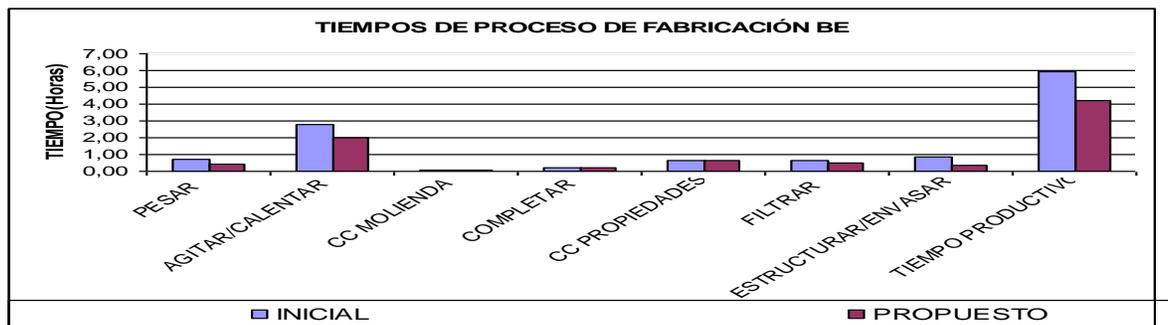
La gráfica 8 (a,b,c) presenta los resultados obtenidos de manera comparativa para la eficiencia de agitación, la operación mas crítica del proceso, y para la eficiencia global del proceso. Adicionalmente se presentan los gráficos que permiten observar más claramente las diferencias existentes entre el proceso en su estado inicial y el propuesto en el presente proyecto.

Gráfica 8: Resultados obtenidos para tiempo de fabricación y eficiencia global de proceso de producción de barnices base aceite

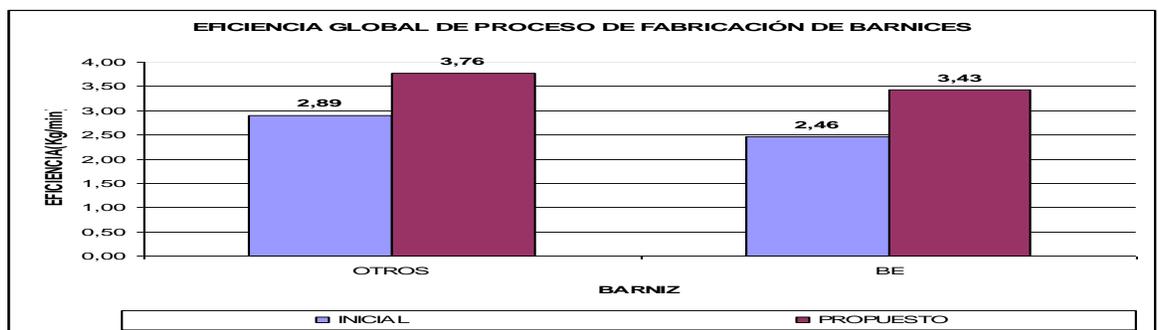
a) Tiempos de proceso otros barnices



b) Tiempos de proceso barniz BE



c) Eficiencia Global del Proceso de Fabricación



3.3.7. BENEFICIOS ECONÓMICOS GENERADOS

El proceso de fabricación propuesto presenta ahorros por diferentes conceptos como se observa en la tabla 6.

A continuación se presentan los principales conceptos que generan ahorros al proceso, comparando el proceso en su estado inicial con el proceso propuesto.

Tabla 6: Ahorros económicos estimados para el proceso propuesto

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO/ UNIDAD	UNIDADES/MES-COP/MES				
			INICIAL		PROPUESTO		AHORRO
Reduccion tiempo de proceso, incremento eficiencia	Horas Hombre	6500	308	2002000	220	1430000	572000
Perdidas de producto	Kg	7500	352	2640000	44	330000	2310000
Energía eléctrica funcionamiento Rotamix	KW-h	210	512,82	107692,2	358,97	75383,7	32308,5
Modo de filtración en serie(Tamaño de poro)	Cantidad de Filtros	15650	132	2065800	88	1377200	688600
TOTAL AHORROS (COP/MES)							3602908,5

La planta de fabricación de barnices base aceite opera de manera ideal 22 días en el mes, con un turno de 10 horas, y con un costo promedio por hora de COP 6500 (RHT, 2009)

El consumo de bolsas-filtro dentro de la planta se reduce en 33% siguiendo la estrategia de filtrar en serie (100 μ m-50 μ m) debido a que ambas bolsas serán utilizadas para la filtración de dos lotes, en el proceso en su estado inicial solo la bolsa de la segunda etapa de filtración es reutilizada para filtrar un segundo lote. La diferencia en costo entre ambas bolsas (100 μ m y 50 μ m) es de COP 500/Bolsa (4%), por lo que un costo promedio es utilizado para el cálculo.

El costo de fabricación por kilogramo también es un promedio del costo de los cuatro barnices del enfoque inicial del proceso.

3.4. FASE 4: CONTROLAR, INDICADORES DE EFICIENCIA Y CONTROL DE PROCESO

3.4.1. INDICADOR DE EFICIENCIA, CAPACIDAD DE PROCESO (Cp)

La capacidad de proceso Cp, se define como la capacidad que tiene un proceso, cualquiera sea su naturaleza, para responder a las especificaciones técnicas que el cliente espera de éste [9,10].

El tiempo de agitación óptimo determinado tras la ejecución del diseño de experimentos fue de dos horas, resultando una eficiencia para la etapa de 7.318 Kg/min +/- 0.22, lo que permite fijar la especificación, la voz del cliente para esta etapa.

Buscando controlar el proceso de manera global, se fija de acuerdo a los resultados obtenidos la especificación de eficiencia global, ésta será de 3.5^{15} Kg/min +/- 0.3. Con ésta se podrá, mediante el seguimiento de cada lote fabricado, evaluar la capacidad del proceso mes a mes para conocer su verdadero estado y tomar las decisiones que sean pertinentes de acuerdo al resultado obtenido para el periodo. Desde el punto de vista teórico un óptimo para Cp será igual a 2, sin embargo, un valor de 1.33 para este indicador garantiza un proceso con alta capacidad para responder a su cliente [9] por tanto será éste el valor al cual a corto plazo se apuntará.

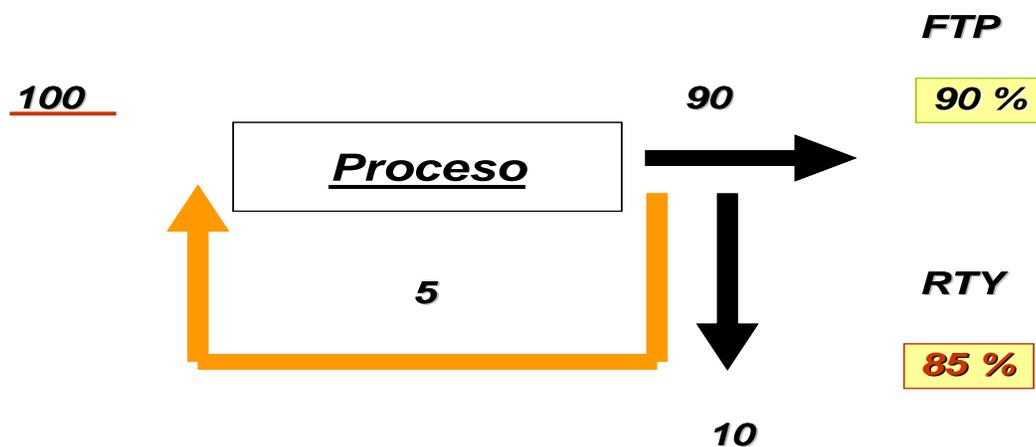
¹⁵ Representa un valor promedio entre la eficiencia global obtenida para barniz BE y los restantes barnices.

3.4.2. INDICADORES DE CALIDAD (FTP Y RTY)

La figura 14 presenta dos indicadores planteados, el primero de ellos FTP (First Time Pass), es una relación simple entre los productos aprobados en Control Calidad (calidades 1 A, 1 y 2) que salen del proceso y el número total de estos fabricados. El FTP es “ciego” a los ajustes, es decir, un barniz puede ser aprobado y certificadas sus especificaciones técnicas después de un ajuste, por ejemplo, tras una adición o retención de aceites para modificar la viscosidad del barniz, éste será calificado con calidad 1 ó 2 según la magnitud del ajuste pero en todo caso aprobado como producto de buena calidad.

El RTY (Rolled Troughput Yield), es otro indicador que excluye de los productos de “buena calidad” aquellos lotes que por cualquier razón tuvieron que ser ajustados, aunque hayan sido aprobados por Control Calidad, es decir, es una relación entre los productos de calidad exclusivamente 1 A y los lotes fabricados en un periodo de tiempo determinado.

Figura 14: Indicadores de calidad FTP Y RTY



Se propone hacer seguimiento mensual al proceso mediante los dos indicadores planteados como indicadores de control; el Cp, que caracterizará el proceso en términos de su eficiencia bajo unas especificaciones (anexo 11), para ello se deberán tomar los tiempos de proceso y determinar el tiempo total de proceso, con éste la eficiencia global y mes a mes determinar la capacidad de proceso y entonces comparar con la especificación anteriormente establecida, esta responsabilidad compete directamente al área de Producción. El RTY que permitirá visualizar mes a mes los niveles de calidad de los productos entregados por el proceso, para ello, basados en el Sistema de Información y Asistencia Técnica (SIAT) se puede conocer el número total de órdenes de trabajo fabricadas cada mes y su respectiva calificación de calidad, luego se evalúa la relación entre el total de órdenes calificadas como 1A y el total de órdenes fabricadas y evaluadas por Control Calidad, ésta responsabilidad deberá ser compartida por el área de Producción y el Área Técnica.

CONCLUSIONES

Se presentó un diagnóstico del proceso de fabricación de barnices base aceite en su estado actual que permitió conocer el proceso con una profundidad considerable y determinar los factores críticos que introducen en éste una alta componente de variación e ineficiencias operativas. La etapa de agitación y dilución se presentó como la etapa más crítica del proceso debido a su alta participación en el tiempo total de proceso, su susceptibilidad a ser modificada y a que presenta gran influencia en la calidad de los barnices fabricados.

La eficiencia de agitación se vio influenciada directamente por el Rotamix, la temperatura de adición de la resina sólida y el modo de adición de la misma. La eficiencia de la operación de agitación en el Rotamix 1 fue de 4.3 Kg/min, en el Rotamix 2 alcanzaba 5.9 Kg/min, para el proceso en su estado inicial.

La combinación óptima entre la temperatura y el modo de adición de la resina sólida se presentó a niveles de 90°C y 50% Resina, respectivamente. Bajo estas condiciones se obtuvo una eficiencia de operación de 7.318 Kg/min, esto permitió pasar de un tiempo promedio de fabricación de 5.5 h a 4.10 h por barniz, disminuyendo en 26% el tiempo de fabricación. La eficiencia global del proceso se incremento en 35%. Esta combinación permitió disminuir la variación del proceso en términos de productividad en un 80%, pasando de 1.21 h inicialmente¹⁶ a 0.22 h trabajando con las condiciones óptimas antes mencionadas. Mediante el proceso propuesto se generan ahorros aproximados por COP 3'600.000/mes, teniendo como fuente principal, la disminución en las horas laboradas por el personal operativo, el menor consumo de bolsas de filtración y la reducción de la pérdida de producto generada en los filtros.

¹⁶ De la información tomada del proceso en su estado inicial (Fase 1).

Se estableció una especificación definida para la eficiencia del proceso que deberá ajustarse a 3.5 Kg/min +/- 0.3 y tiempo de 4.1 h +/-0.15 (anexo11). El 100% de los barnices fabricados bajo estas condiciones de operación presentaron calidad 1 A, la máxima calificación dentro del sistema de aprobación de la compañía.

Se propusieron modos de trabajo para las diferentes etapas del proceso, buscando disminuir los tiempos inoperantes que en éste se presentan. La implementación de sistemas de filtración independientes para cada recipiente de fabricación aparece como una alternativa que permitirá un mejor manejo del producto terminado, alta eficiencia en las operaciones de filtrar/envasar y estructurar, mayor seguridad al operario y aseo en la planta de producción de barnices base aceite. Mediante estos métodos de trabajo y las condiciones óptimas de fabricación, se estandarizó el proceso productivo, generando un documento (anexo11) que pone en conocimiento de todos los interesados las condiciones estándar de operación establecidas para el proceso.

Se planteó un método alternativo de medición de propiedades reológicas, que si bien no presenta diferencias estadísticamente significativas respecto al método tradicional, si permite obtener una menor dispersión de la medición, lo que garantiza en alguna medida la reproducibilidad y repetibilidad de ésta. Adicionalmente se demostró que es viable medir las propiedades reológicas de los barnices a 30°C, permitiendo una mayor eficiencia en el desarrollo del chequeo sin alteraciones significativas en la medición.

El control del proceso es fundamental para la toma de decisiones respecto al proceso, para hacer seguimiento a éste se tomó el Cp como índice de referencia que refleja la capacidad del proceso de ajustarse a la especificación de eficiencia

establecida, adicionalmente el RTY permitirá a los encargados del proceso controlar los niveles de calidad del barniz fabricado por el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ENTREVISTA, Ricardo Mesías, Ex asistente técnico laboratorio base aceite, Tintas S.A. Medellín, 5 de Agosto de 2008

[2] NATIONAL INK RESEARCH INSTITUTE (1982), Physics and chemistry of printing inks, Dispersion of pigments, composition of printing inks, 3rd short annual course.

[3] ROYAL 4, sistema informativo Grupo Mundial, registro de producción, consultado en Agosto de 2008

[4] LEACH R.H. et al. Letterpress inks, raw materials, Manufacture of inks and varnishes. En: The printing ink manual, Fourth edition, p 289,183,192, Von Nostrand Reinhold International.

[5] ÁREA TÉCNICA (2008), Tintas Offset, TINTAS S.A, Documento Interno, Medellín.

[6] MENDOZA A. Gustavo (2008), Herramientas Fase I. En: Capacitación Seis Sigma Tintas S.A.

[7] ASFAHL Ray (2000), et al. Processes safety. En: Industrial safety and health management, Fourth edition, p 120-126, Pearson Education.

[8] MOTT Robert L., ENRIQUEZ B. Javier (2006), Mecánica de fluidos, sexta edición, Pearson Education.

[9] CARIÑO G. Ruben (2002), Seis sigma y la capacidad de proceso en proyectos. En: Tendencias tecnológicas, Boletín IIE.

[10] TINTAS S.A (2008), Curso de formación Green Belt.

[11] ÁREA TÉCNICA, Sistema de aprobación de calidad GM, TINTAS S.A, Documento Interno.

[12] MINISTERIO DE EDUCACIÓN CULTURA Y DEPORTE DE ESPAÑA, Preimpresión en artes gráficas, Materias primas en artes graficas, www.recursos.cnice.mec.es/fp/artes/, consultada 29 de marzo de 2009

[13] ENTREVISTA, Oscar Sánchez Ramírez, Asistente técnico laboratorio base aceite, Tintas S.A. Medellín, Septiembre de 2008-Marzo de 2009

[14] GARCÍA M. Eduar (2007), Informe para la conversión de ollas especiales de fabricación de barniz y cocina restaurante a gas natural, Área de Mantenimiento Tintas S.A.

[15] TURTON Richard (2003). Et al. Analysis, synthesis, and design of chemical processes, Second Edition, Prentice Hall.

ANEXOS

Anexo 1: Certificado calibración viscosímetro Laray



Sistemas de Control y Metrología Ltda.
Nit. 900.133.987-1

INFORME DE MANTENIMIENTO, VERIFICACIÓN Y/O CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE TEMPERATURA									
STICKER	:	1008	NÚMERO DE SERIE SERIAL NUMBER	:	L05003				
SOLICITANTE CUSTOMER	:	TINTAS S.A.	RESOLUCIÓN RESOLUTION	:	0.1				
UBICACIÓN LOCATION	:	LABORATORIO CALIDAD	UNIDAD DE MEDIDA MEASURE OF UNIT	:	°C				
FECHA DE SERVICIO DATE OF SERVICE	:	2008-07-10	RANGO DE MEDICIÓN MEASUREMENT OF RANGE	:	25 A 55				
INSTRUMENTO / EQUIPO APPARATUS	:	BAÑO MARÍA	TIPO DE CONVENCIÓN CONVENTION OF TYPE	:	FORZADA				
MODELO MODEL	:	RMS	TEMPERATURA DE TRABAJO WORK OF TEMPERATURE	:	25				
FABRICANTE MANUFACTURER	:	RMS LAUDA	TIPO DE SENSOR SENSOR TYPE	:	ELECTRÓNICO				
CÓDIGO METROLÓGICO METROLOGIC CODE	:	ID40027							
TRAZABILIDAD: FLUKE 714, Número de serie 8862019, Informe de calibración CM-10695-0324. Emitido por el LABORATORIO DE EATC DE EPPP									
DOCUMENTOS DE REFERENCIA: Instructivo para mantenimiento, verificación y/o calibración de equipos de temperatura.									
DISPOSITIVO INDICADOR: <input checked="" type="checkbox"/> DISPLAY <input type="checkbox"/> ANALÓGICO									
PRUEBA Num. 1		PRUEBA Num. 2			PRUEBA Num. 3			CUMPLE	
Temp. Programada = 25		Temp. Programada =			Temp. Programada =			SI X NO	
Temp. Indicada = 25.0		Temp. Indicada =			Temp. Indicada =			CONDICIONADO (P)	
TEMP. PATRÓN		TEMP. PATRÓN			TEMP. PATRÓN				
POSICIÓN	AA	DA	POSICIÓN	AA	DA	POSICIÓN	AA	DA	DECISIONES DE CONFIRMACIÓN
1.	24.9	24.9	1.			1.			CALIBRADO X
2.	24.9	24.9	2.			2.			DESCALIBRADO
3.	24.9	24.9	3.			3.			AJUSTE
4.	24.9	24.9	4.			4.			DAÑO DE BAJA
Promedio	24.90	24.90	Promedio			Promedio			VERIFICADO
TEMPERATURA	24.90		TEMPERATURA				TEMPERATURA		
INCERTIDUMBRE	0.00		INCERTIDUMBRE				INCERTIDUMBRE		
TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA			VOLTAJES				
					V FASE-NEUTRO				
					V FASE - TIERRA				
					V NEUTRO - TIERRA				
Convenções: AA Medición antes de ajuste DA Medición después del ajuste									
OBSERVACIONES:									
PRÓXIMO MANTENIMIENTO, VERIFICACIÓN Y/O CALIBRACIÓN: 2008-10-10									
RESPONSABLE DE LA MEDICIÓN: <i>Mauricio Hernandez</i>									

Calle 24 No. 70 - 43 Tel. 256 87 14 e-mail: mauriciohf34@hotmail.com
Medellín - Colombia

Anexo 2: Certificado de calibración Tackometer



Sistemas de Control y Metrología Ltda.
Nit. 900.133.987-1

**INFORME TÉCNICO
MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Medellín, Septiembre 29 de 2008

Ingeniera
CATALINA GÓMEZ
TINTAS S.A.
Medellín

INFORME TÉCNICO N° TIN009-01

De acuerdo con el servicio de mantenimiento preventivo, del Tack-O-Meter de su empresa; efectuado el día 26 de Septiembre de 2008 presento a consideración el siguiente informe:

1. DATOS DEL EQUIPO

EQUIPO:	TACK-O-METER	MARCA:	TESTPRINT
MODELO:	BV	SERIE:	TOM-2006-01
CÓDIGO:	ID #0223	UBICACIÓN:	LAB. DE CALIDAD

2. TRABAJOS REALIZADOS

- Limpieza de tarjeta de control.
- Limpieza y ajuste de bohemras, conectores y terminales eléctricos.
- Limpieza y ajuste de la conexión a la impresora.
- Ajuste de cero de la impresora.
- Calibración según instructivo del fabricante se anexa resultados.

Calle 24 No. 70 - 43 Tel: 580 70 51 Telefax: 343 11 24 e-mail: siscomet@hotmail.com
Medellín - Colombia

**Anexo 3: Análisis ANOVA Sistema de medición de propiedades reológicas
(Minitab)**

Results for: GagesViscosidad

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Viscosidad (Lineal)

Gage name: Análisis Medición Viscosidad
 Date of study: Febrero 9 - 2009
 Reported by: Santiago Angel
 Tolerance:
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Muestra	2	46097.9	23048.9	36.8564	0.003
Operador	2	1002.3	501.1	0.8014	0.510
Muestra * Operador	4	2501.5	625.4	1.1284	0.374
Repeatability	18	9976.0	554.2		
Total	26	59577.6			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Muestra	2	46097.9	23048.9	40.6393	0.000
Operador	2	1002.3	501.1	0.8836	0.427
Repeatability	22	12477.5	567.2		
Total	26	59577.6			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	567.16	18.50
Repeatability	567.16	18.50
Reproducibility	0.00	0.00
Operador	0.00	0.00
Part-To-Part	2497.97	81.50
Total Variation	3065.13	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	23.8151	142.891	43.02
Repeatability	23.8151	142.891	43.02
Reproducibility	0.0000	0.000	0.00
Operador	0.0000	0.000	0.00
Part-To-Part	49.9797	299.878	90.28
Total Variation	55.3636	332.182	100.00

Number of Distinct Categories = 2

Results for: GagesRigidez

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Rigidez (Lineal)

Gage name: Análisis Medición Rigidez
Date of study: Febrero 9 - 2009
Reported by: Santiago Angel
Tolerance:
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Muestra	2	80550670	40275335	6.97926	0.050
Operador	2	5551583	2775791	0.48101	0.650
Muestra * Operador	4	23082866	5770717	2.17892	0.113
Repeatability	18	47671741	2648430		
Total	26	156856861			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	3689192	49.04
Repeatability	2648430	35.20
Reproducibility	1040762	13.83
Operador	0	0.00
Operador*Muestra	1040762	13.83
Part-To-Part	3833847	50.96
Total Variation	7523039	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1920.73	11524.4	70.03
Repeatability	1627.40	9764.4	59.33
Reproducibility	1020.18	6121.1	37.19
Operador	0.00	0.0	0.00
Operador*Muestra	1020.18	6121.1	37.19
Part-To-Part	1958.02	11748.1	71.39
Total Variation	2742.82	16456.9	100.00

Number of Distinct Categories = 1

Results for: GagesTack Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Tack

Gage name: Análisis Medición Tack
Date of study: Febrero 9 - 2009
Reported by: Santiago Angel
Tolerance:
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Muestra	2	5036.1	2518.04	16.2999	0.012
Operador	2	2345.0	1172.48	7.5898	0.043
Muestra * Operador	4	617.9	154.48	0.4145	0.796
Repeatability	18	6708.0	372.67		
Total	26	14707.0			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Muestra	2	5036.1	2518.04	7.56175	0.003
Operador	2	2345.0	1172.48	3.52100	0.047
Repeatability	22	7325.9	333.00		
Total	26	14707.0			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	426.273	63.71
Repeatability	332.997	49.77
Reproducibility	93.276	13.94
Operador	93.276	13.94
Part-To-Part	242.782	36.29
Total Variation	669.055	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	20.6464	123.878	79.82
Repeatability	18.2482	109.489	70.55
Reproducibility	9.6580	57.948	37.34
Operador	9.6580	57.948	37.34
Part-To-Part	15.5815	93.489	60.24
Total Variation	25.8661	155.197	100.00

Number of Distinct Categories = 1

Anexo 5: Registro de calibración báscula planta barnices Enero de 2009

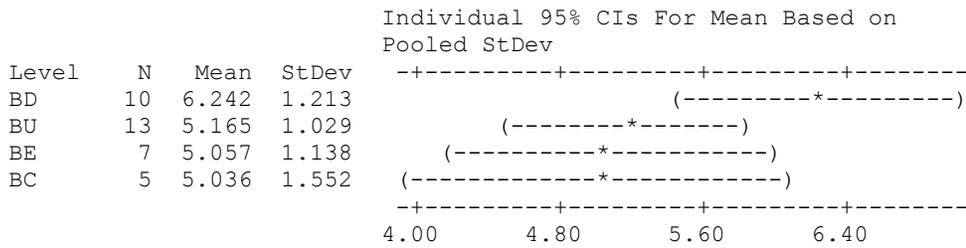
INFORME DE MANTENIMIENTO, VERIFICACIÓN Y/O CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE PESAJE						STIKER No 1658		FM-22	
SOLICITANTE	TINTAS S.A.	EQUIPO	BÁSCULA	CAPACIDAD MÁX.	1500	kg	d	0,2	kg
UBICACIÓN	CHIPS	MODELO	200 E	CAPACIDAD MIN.	4	kg	e	0,2	kg
FECHA SERVICIO	2009-01-28	No SERIE	N.A	FABRICANTE	SALTER	CLASE	III		
PRÓXIMA SERVICIO	2009-02-28	CÓDIGO M.	ID # 00065	RESPONSABLE	ESNEIDER CÓRDOBA	UNIDAD UTILIZADA			kg(X) g ()
TRAZABILIDAD	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTO DE COLOMBIA Ltda. PARA PESAS M1 No 6627 C, 6628 C, 6629 C. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTO DE COLOMBIA Ltda. PARA JUEGO DE PESAS CLASE F1 No 0389 C, 6619 C, 6166 C.								
DOCUMENTOS DE REFERENCIA: NTC 1848, NTC 2031, IMEP-01 (instructivo de mantenimiento, verificación y/o calibración de equipos de pesaje)									
INSPECCIÓN GENERAL		RANGOS DE PESADA		ERROR MÁX. PERMITIDO INSTRUMENTO EN SERVICIO				DECISIONES DE CONFIRMACIÓN	
COMPONENTES		UNIDAD		DOS VECES EL ERROR INICIAL TABLA 6 NTC 2031				CONFORME	
ESTADO		kg		INICIAL VALOR SERVICIO VALOR				NO CONFORME	
1 CABLE	B	0	100	+/- 0,5 e	100	+/- 1,0 e	200	AJUSTE	
2 CONECTOR CELDA	B	100	400	+/- 1,0 e	200	+/- 2,0 e	400	DADO DE BAJA	
3 CELDA (S) DE CARGA	B	400	1500	+/- 1,5 e	300	+/- 3,0 e	600	VERIFICADO	
4 TARJETA SUMATORIA	B							REPARADO	
5 LIMPIEZA GENERAL	B								
6 LIMPIEZA FOSO	B								
7 PRENSAESTOPAS	N.A								
8 PLATINAS	N.A								
9 BANDEJA	N.A								
10 TORNILLERÍA TOPES	N.A								
11 NIVEL	B								
12 PATAS	B								
13 CARCAZA INDICADOR	B								
14 TECLADO INDICADOR	B								
15 DISPLAY INDICADOR	B								
16 TARJETA PRINCIPAL	B								
		CONVENCIONES		ERROR (E)= INDICACIÓN-CARGA + 1/2d-AUMENTO					
		N.A.		ENSAYO DE FATIGA					
		N.P.		HORA					
		B		CARGA				AUMENTO	
		D		INDICACIÓN				ERROR	
		R		kg				g	
				17:10				100	
				17:25				600,2	
				ENSAYO DE PUNTO CERO				ERROR < 0,5e	
				INDICA. ANTES				0,0	
				INDICACIÓN + 15				0,0	
				CUMPLE				SI	
				VOLTAJES AC					
				V FASE-NEUTRO				115	
				V FASE-TIERRA				115	
				V NEUTRO-TIERRA				0	
ENSAYO DE EXACTITUD									
No	CARGA	CARGA CRECIENTE			CARGA DECRECIENTE				
		INDICACIÓN	AUMENTO	ERROR	INDICACIÓN	AUMENTO	ERROR		
	kg	kg	g	g	kg	g	g		
1	0	0,0	0	100	600,2	140	160		
2	5	5,0	120	-20	560,0	100	0		
3	30	30,0	120	-20	520,0	100	0		
4	60	60,0	120	-20	480,0	100	0		
5	100	100,0	120	-20	440,0	100	0		
6	160	160,0	120	-20	400,0	100	0		
7	220	220,0	120	-20	340,0	100	0		
8	280	280,0	120	-20	280,0	100	0		
9	340	340,0	120	-20	220,0	100	0		
10	400	400,0	120	-20	160,0	100	0		
11	440	440,0	120	-20	100,0	100	0		
12	480	480,0	120	-20	60,0	120	-20		
13	520	520,0	100	0	30,0	120	-20		
14	560	560,0	100	0	5,0	120	-20		
15	600	600,0	100	0	0,0	0	100		
CUMPLE SI (X) NO ()				CUMPLE SI (X) NO ()					
GRAFICA DE ERRORES									
ENSAYO DE REPETIBILIDAD									
No	0,5e...1e	CARGA BAJA	100	1e...1,5e	CARGA MEDIA	400	1,5e...3e	CARGA ALTA:	600
	INDICACIÓN	AUMENTO	ERROR	INDICACIÓN	AUMENTO	ERROR	INDICACIÓN	AUMENTO	ERROR
	kg	g	g	kg	g	g	kg	g	g
1	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,0	100	0
2	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,0	100	0
3	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,0	100	0
4	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,2	130	170
5	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,0	100	0
6	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,0	100	0
7	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,0	100	0
8	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,0	100	0
9	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,0	100	0
10	100,0	120	-20	400,0	120	-20	600,0	100	0
E MÁX.-E MIN.		0		E MÁX.-E MIN.		0		E MÁX.-E MIN.	
CUMPLE SI (X) NO ()				CUMPLE SI (X) NO ()				CUMPLE SI (X) NO ()	
Error Máx. - Error Min. ≤ (0,5e), (1e)				Error Máx. - Error Min. ≤ (1,0e), (2e)				Error Máx. - Error Min. ≤ (1,5e), (3e)	
INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN									
0,365148372									
POSICIÓN DE LOS PUNTOS EN EL EQUIPO									
ENSAYO DE EXCENTRICIDAD DE CARGA 1/3(CARGA MÁX.)					DATOS DE LA (S) CELDA (S) DE CARGA				
POSICIÓN	INDICACIÓN	AUMENTO	ERROR	RESULTADO	CELDA No	mV	IMPEDANCIA IN	IMPEDANCIA OUT	IMPEDANCIA PRO.
No.	kg	g	g		1	0,7 mV	386 ohmios	351 ohmios	280 ohmios
1	400,0	120	-20	CUMPLE	2	0,1 mV	383 ohmios	353 ohmios	312/267 ohmios
2	400,0	100	0	CUMPLE	3	0,5 mV	380 ohmios	352 ohmios	278 ohmios
3	399,8	100	-200	CUMPLE	4	0,3 mV	385 ohmios	352 ohmios	275 ohmios
4	400,0	120	-20	CUMPLE	V. EXCITACIÓN				
5	400,0	100	0	CUMPLE	9,9 Vdc				
1	400,0	120	-20	CUMPLE	MODELO CELDA				
CARGA	400	kg			CAPACIDAD				
OBSERVACIONES:									
RESULTADO: EL EQUIPO CUMPLE CON LAS CARACTERÍSTICAS DE CLASE DE EXACTITUD Y CON LOS ERRORES PERMITIDOS POR LA NTC 2031 DE 2002-10-30 APLICA PARA EL ENSAYO DE EXACTITUD LOS NUMERALES A.4.4.1 / A.4.4.5; ENSAYO DE REPETIBILIDAD NUMERALES T.4.3 / 3.6.1 / A.4.10; ENSAYO DE EXCENTRICIDAD DE CARGA NUMERALES 3.6.2 / 3.6.2.1 / A.4.7; ENSAYO DE RETORNO A CERO A.4.11 / A.4.11.1 / A.4.11.2 / 4.5; ENSAYO DE DISCRIMINACIÓN NUMERALES T.4.2 / 3.8.1 / 3.8.2 / 3.8.2.1 / 3.8.2.2 / A.4.8.1 / A.4.8.2 DEL ICONTEC.									

Anexo 6: Análisis One-Way ANOVA para eficiencia de operación Vs Barniz (Minitab)

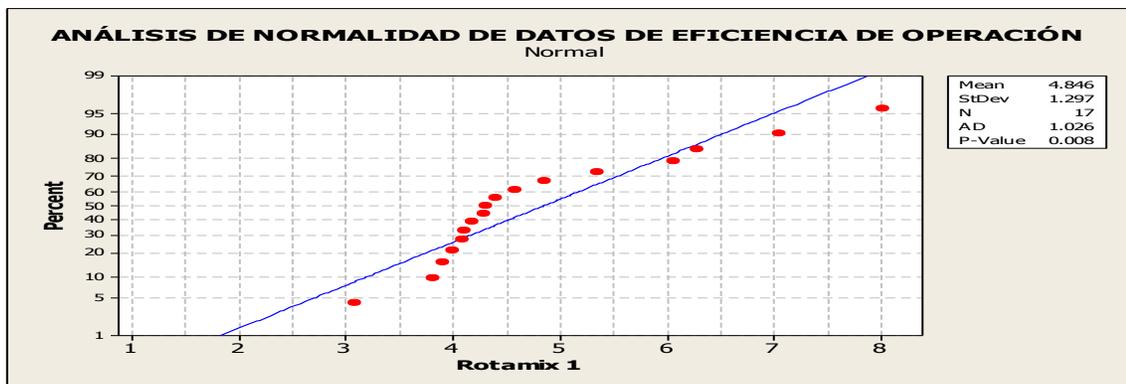
One-way ANOVA: Eficiencia op versus Barniz

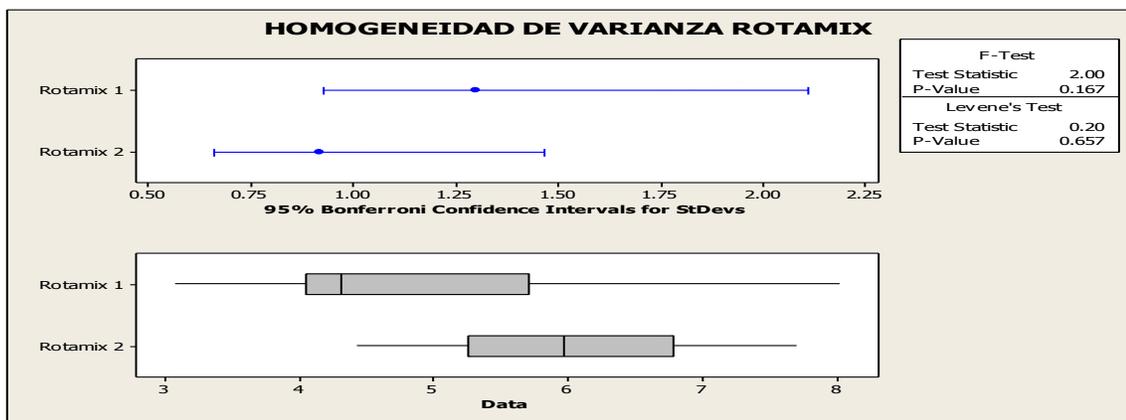
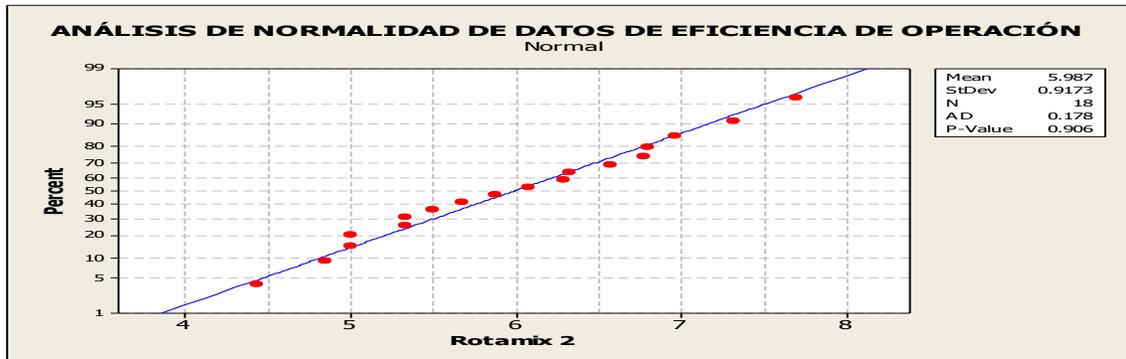
Source	DF	SS	MS	F	P
Barniz	3	9.25	3.08	2.21	0.107
Error	31	43.36	1.40		
Total	34	52.61			

S = 1.183 R-Sq = 17.59% R-Sq(adj) = 9.61%



Anexo 7: Mann-Whitney test Rotamix 1 Vs Rotamix 2 (Minitab)





Mann-Whitney Test and CI: Rotamix 1, Rotamix 2

	N	Median
Rotamix 1	17	4.310
Rotamix 2	18	5.970

Point estimate for ETA1-ETA2 is -1.285
 95.0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-2.030,-0.600)
 W = 215.5
 Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant **at 0.0030**
 The test is significant at 0.0030 (adjusted for ties)

Anexo 8: Resultados Diseño de experimentos (Minitab)

Factorial Fit: EFICIENCIA OPERACIÓN versus Block, ADD RESINA, TEMPERATURA

Estimated Effects and Coefficients for EFICIENCIA OPERACIÓN(Kg/min) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		6.3809	0.1239	51.50	0.000
Block		-0.2237	0.1012	-2.21	0.040
ADD RESINA	2.2882	1.1441	0.1239	9.23	0.000
TEMPERATURA	-0.8892	-0.4446	0.1239	-3.59	0.002
ADD RESINA*TEMPERATURA	0.5036	0.2518	0.1239	2.03	0.057
Ct Pt		-0.6795	0.2146	-3.17	0.005

S = 0.495554 R-Sq = 86.69% R-Sq(adj) = 82.99%

Analysis of Variance for EFICIENCIA OPERACIÓN(Kg/min) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	1.2008	1.2008	1.2008	4.89	0.040
Main Effects	2	24.1065	24.1065	12.0533	49.08	0.000
2-Way Interactions	1	1.0146	1.0146	1.0146	4.13	0.057
Curvature	1	2.4626	2.4626	2.4626	10.03	0.005
Residual Error	18	4.4203	4.4203	0.2456		
Lack of Fit	4	3.9806	3.9806	0.9952	31.68	0.000
Pure Error	14	0.4397	0.4397	0.0314		
Total	23	33.2049				

Estimated Coefficients for EFICIENCIA OPERACIÓN(Kg/min) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	14.9491
Block	-0.223683
ADD RESINA	-10.9926
TEMPERATURA	-0.120006
ADD RESINA*TEMPERATURA	0.201455
Ct Pt	-0.679519

Least Squares Means for EFICIENCIA OPERACIÓN(Kg/min)

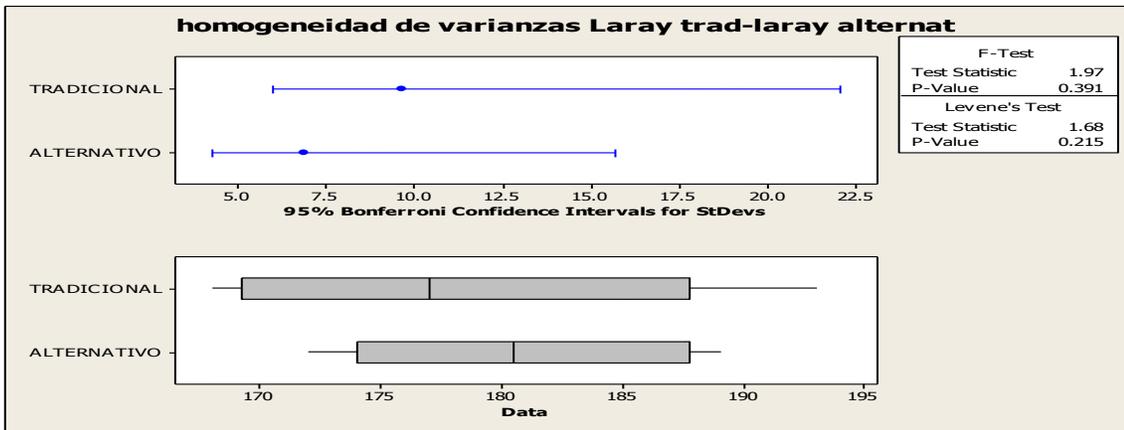
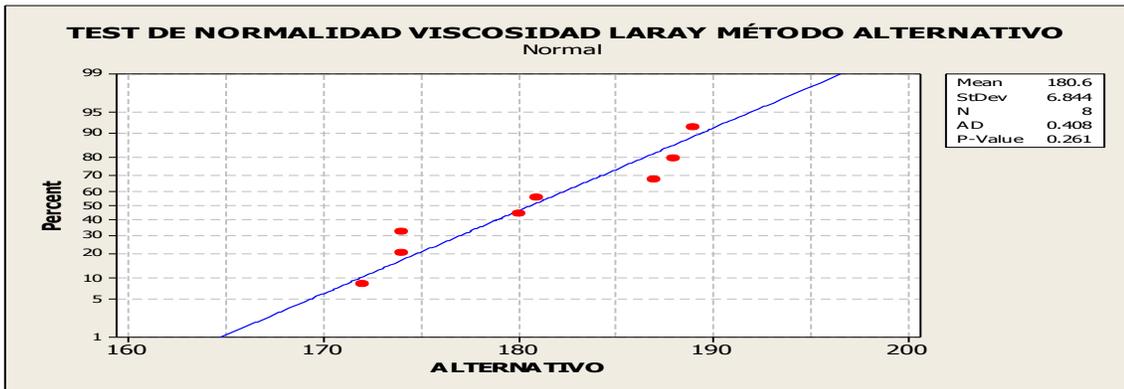
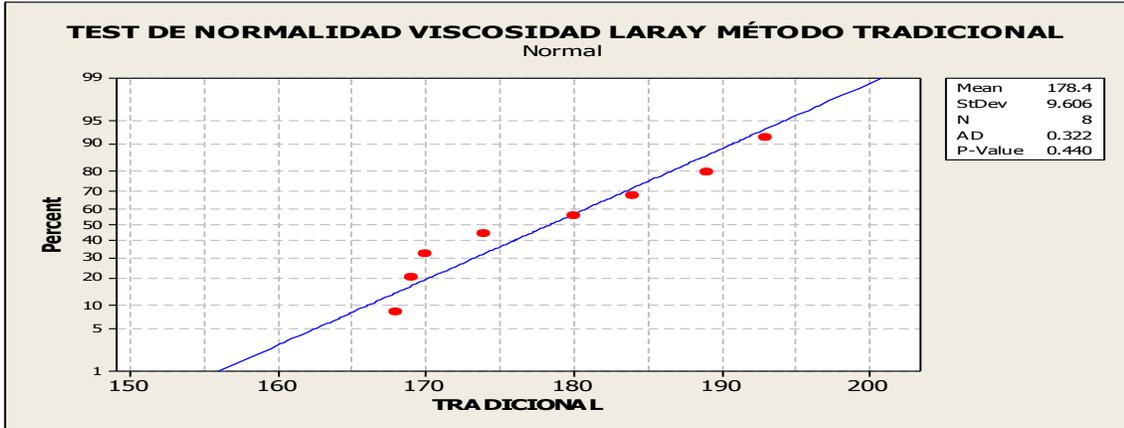
	Mean	SE Mean
ADD RESINA		
0.2500	5.237	0.1752
0.5000	7.525	0.1752
TEMPERATURA		
90	6.825	0.1752
110	5.936	0.1752
ADD RESINA*TEMPERATURA		
0.2500 90	5.933	0.2478
0.5000 90	7.718	0.2478
0.2500 110	4.540	0.2478
0.5000 110	7.332	0.2478

Mean for Center Point = 5.701

Predicted Response for New Design Points Using Model for EFICIENCIA
OPERACIÓN(Kg/min)

Point	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
1	4.76401	0.26763	(4.20174, 5.32628)	(3.58076, 5.94726)
2	7.55587	0.26763	(6.99360, 8.11813)	(6.37262, 8.73911)
3	5.92502	0.20231	(5.49999, 6.35006)	(4.80049, 7.04956)
4	5.92502	0.20231	(5.49999, 6.35006)	(4.80049, 7.04956)
5	7.94144	0.26763	(7.37917, 8.50371)	(6.75819, 9.12469)
6	6.15686	0.26763	(5.59459, 6.71912)	(4.97361, 7.34010)
7	4.31665	0.26763	(3.75438, 4.87891)	(3.13340, 5.49989)
8	5.47766	0.20231	(5.05262, 5.90269)	(4.35312, 6.60220)
9	7.49407	0.26763	(6.93180, 8.05634)	(6.31082, 8.67732)
10	5.70949	0.26763	(5.14722, 6.27176)	(4.52624, 6.89274)
11	5.47766	0.20231	(5.05262, 5.90269)	(4.35312, 6.60220)
12	7.10850	0.26763	(6.54623, 7.67077)	(5.92525, 8.29175)
13	4.76401	0.26763	(4.20174, 5.32628)	(3.58076, 5.94726)
14	7.55587	0.26763	(6.99360, 8.11813)	(6.37262, 8.73911)
15	5.92502	0.20231	(5.49999, 6.35006)	(4.80049, 7.04956)
16	5.92502	0.20231	(5.49999, 6.35006)	(4.80049, 7.04956)
17	7.94144	0.26763	(7.37917, 8.50371)	(6.75819, 9.12469)
18	6.15686	0.26763	(5.59459, 6.71912)	(4.97361, 7.34010)
19	4.31665	0.26763	(3.75438, 4.87891)	(3.13340, 5.49989)
20	5.47766	0.20231	(5.05262, 5.90269)	(4.35312, 6.60220)
21	7.49407	0.26763	(6.93180, 8.05634)	(6.31082, 8.67732)
22	5.70949	0.26763	(5.14722, 6.27176)	(4.52624, 6.89274)
23	5.47766	0.20231	(5.05262, 5.90269)	(4.35312, 6.60220)
24	7.10850	0.26763	(6.54623, 7.67077)	(5.92525, 8.29175)

Anexo 9: Two-Sample T-Test para método viscosímetro Laray, método tradicional Vs Método alternativo (Minitab)



Test for Equal Variances: TRADICIONAL, ALTERNATIVO

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	N	Lower	StDev	Upper
TRADICIONAL	8	6.00939	9.60562	22.0015
ALTERNATIVO	8	4.28164	6.84392	15.6759

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 1.97, p-value = 0.391

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 1.68, p-value = 0.215

Two-Sample T-Test and CI: TRADICIONAL, ALTERNATIVO

Two-sample T for TRADICIONAL vs ALTERNATIVO

	N	Mean	StDev	SE Mean
TRADICIONAL	8	178.38	9.61	3.4
ALTERNATIVO	8	180.63	6.84	2.4

Difference = mu (TRADICIONAL) - mu (ALTERNATIVO)
Estimate for difference: -2.25000
95% CI for difference: (-11.33552, 6.83552)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.54 P-Value = 0.599 DF = 12

Anexo 10: Formato de la encuesta de las CTQ'S

CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DEL CLIENTE	
Claifique de 1 a 10, solo con números enteros y sin repetir valoración, las diez características enunciadas a continuación, respecto al proceso de producción de barnices base aceite y al barniz como producto	
CARACTERÍSTICA DE CALIDAD	CALIFICACIÓN
SALUD Y SEGURIDAD	
PLANTA ASEADA	
TIEMPO DE FABRICACIÓN POR LOTE	
EXISTENCIA Y ALMACENAMIENTO ORGANIZADO	
DISPONIBILIDAD DEL BANRNIZ EN PLANTA	
FLUIDEZ (caliente)	
ESTADO TÉCNICO DE MAQUINARIA	
REPRODUCIBILIDAD DEL PROCESO	
PROPIEDADES REOLÓGICAS	
MOLIENDA	

Nombre:

Anexo 11: Condiciones estándar de operación del proceso de fabricación de barnices base aceite. (*) las especificaciones técnicas de los barnices no pueden ser publicadas por políticas internas de la compañía.

PROCESO DE FABRICACIÓN DE BARNICES BASE ACEITE		
OPERACIÓN	ESTANDAR	ESPECIFICACIÓN
Pesar	Tiempo de operación	25 +/-5 min (0,42 h)
	Equipo	>50 Kg-báscula, <50 Kg- balanza
	Temperatura	30-40°C
	Orden de pesaje	Especificado en la orden de trabajo, orden estricto
Agitar/Calentar	Tiempo de operación	114 +/-12 min (1.9 h)
	Eficiencia de operación	7.318 +/-0,22 Kg/min
	Temperatura adición resinas sólidas	90-100°C
	Temperatura final de agitación	140-160°C
	Modo de adición de resinas sólidas	50%-30 min en agitación-50% restante-40 min de agitación
	Sistema de calentamiento	Aceite térmico, puede tambien usarse gas natural
	Agitación- Velocidad	Agitador tipo Rotamix, 1800 rpm
Control Calidad	Tiempo de operación	45 min (5 min molienda, 40 min propiedades reológicas)
	Temperatura de chequeo	30°C
	Medición Molienda	Método NPIRI, 0 NPIRI (0 micras)
	Medición reología (viscosidad, rigidez)	Laray Exponencial, la especificación técnica depende de cada barniz(*)
	Medición Tack	Tackometro, la especificación depende del barniz(*)
	Calibración equipos de medición	Mensual
Completar	Tiempo de operación	14 +/- 2 min (0,2 h)
	Temperatura	140°C
	Agitación- Velocidad	Agitador tipo Rotamix, 1800 rpm
Filtrar/ensasar	Tiempo de operación	30 +/-5 min (0,5 h)
	Modo de filtración	Dos etapas de filtración en serie
	Temperatura	90-120°C
	Tamaño de poro de bolsas	Primera etapa: 100 micras, Segunda etapa: 50 micras
	Modo de envase	Bombeo
	Capacidad de flujo de la bomba	Superior a 3 Kg/s
Estructurar (solo BE)	Tiempo de operación	20 min +/- 3min (0,33 h)
	Recipiente de estructuración	Tanque de estructuración (solo estructuración)
	Temperatura	110-120°C
	Agitación- Velocidad	Agitador de disco tipo Cowles, 600-700 rpm
	Modo de envase	Bombeo, superior a 3 Kg/s
PROCESO	Tiempo de proceso	4,1 +/-0, 15 h
	Eficiencia de proceso	3.5 +/- 0, 3 Kg/min