

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Química y Textil



TESIS

Mejoramiento de la reproducibilidad y repetitividad en el teñido por agotamiento con colorantes reactivos

Para obtener el título profesional de Ingeniero Textil

Elaborado por

Edgar Martin Guillén Hernández

 [0009-0008-6006-570X](https://orcid.org/0009-0008-6006-570X)

Asesor

Mag. Marco Apolonio Brañez Sánchez

 [0000-0002-7570-2889](https://orcid.org/0000-0002-7570-2889)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Guillén Hernández [1]
Referencia/Reference	[1] E. Guillén Hernández <i>“Mejoramiento de la reproducibilidad y repetitividad en el teñido por agotamiento con colorantes reactivos”</i> [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Guillén, 2024)
Referencia/Reference	Guillén, H. (2024). <i>Mejoramiento de la reproducibilidad y repetitividad en el teñido por agotamiento con colorantes reactivos</i> [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma. Ed.)	

Dedicatoria

Dedicado a las mujeres de mi vida, Fátima, Melina, Guisela y Rosa

Agradecimientos

Con todo el corazón, mi más profundo agradecimiento a mi familia, a mi Alma Mater la Universidad Nacional de Ingeniería y a todos mis amigos y compañeros de trabajo a lo largo de más de 20 años de vida profesional. Mis padres, quienes desde siempre forjaron indismayablemente la trayectoria de mi vida y mi espíritu. Mi esposa e hijas que mantienen mi mente y corazón rebosando de amor. Los docentes y colegas de la UNI que me dieron mucho más que una educación universitaria, y aquí quiero mencionar con un muy especial aprecio y nostalgia al que considero mi mayor referente, el Ingeniero Arquímedes Fuertes Molina. Mis amigos y compañeros a lo largo de mi carrera profesional, porque con ellos aprendí la práctica fundamental, que da el valor agregado a la teoría, en tintorerías como Cotton Design's, Cofaco, Textil San Cristóbal, La Colonial, Textiles Camones quienes en la práctica son y siempre serán mi segunda familia, que me recibe cuando cruzo el umbral de la puerta de mi casa.

Quiero concluir citando la frase de Tony Robbins (Robbins, 2010) que aprendí en una de las fábricas textiles que me acogió y es para mi humilde entender un mandamiento aplicable a prácticamente todo, incluido la vida misma.

“Si haces, lo que siempre has hecho, obtendrás lo que siempre has conseguido”

Resumen

La tesis tuvo por objetivo crear e implementar procedimientos de trabajo en la planta y en el laboratorio, para el mejoramiento de la reproducibilidad y la repetitividad de los tonos de las partidas de planta en el teñido por agotamiento con colorantes reactivos sobre algodón. La metodología consistió en recopilar información histórica que reflejaba la realidad inicial y luego el impacto luego de implementar los cambios que corrijan la mala reproducibilidad y repetitividad. Se estableció un sistema con información real con uso de un ordenador para el control de los parámetros del teñido en la planta, con una aplicación para el control del electrolito, y otra para el cálculo de los parámetros relativos a la relación de baño, con información de cada máquina, ciclo de teñido, y condiciones de la partida. Se adaptó la aplicación para su uso en el laboratorio, para sincerar y proyectar la información específica de cada lote. Se determinó por ensayos, la curva de teñido más apropiada en laboratorio, para imitar la curva de planta, y analizar el comportamiento de los colorantes. Finalmente, se analizó los casos de partidas fuera de tono de fuertes desviaciones. Se concluyó, que la mayor parte de la solución de este problema no pasa por desarrollos complejos sino por aplicar orden y sentido matemático a los factores que forman parte del tema. Se llegó al planteo de una ecuación en donde resolvemos la mayor parte las soluciones quedando la parte más fina para estudios posteriores.

Palabras clave – colorantes reactivos, reproducibilidad, repetitividad, teñido

Abstract

The objective of the thesis was to create and implement work procedures in the plant and in the laboratory, to improve the reproducibility and repeatability of the tones of the plant batches in exhaustion dyeing with reactive dyes on cotton. The methodology consisted of collecting historical information that reflected the initial reality and then the impact after implementing the changes that correct poor reproducibility and repeatability. A system was established with real information with the use of a computer to control the dyeing parameters in the plant, with an application for the control of the electrolyte, and another for the calculation of the parameters related to the bath ratio, with information of each machine, dyeing cycle, and batch conditions. The application was adapted for use in the laboratory, to record and project the specific information of each batch. The most appropriate dyeing curve in the laboratory was determined by tests, to imitate the plant curve, and analyze the behavior of the dyes. Finally, cases of out-of-tune games with strong deviations were analyzed. It was concluded that most of the solution to this problem does not involve complex developments but rather by applying order and mathematical sense to the factors that are part of the topic. We came up with an equation where we solve most of the solutions, leaving the finer part for later studies.

Keywords – reactive dyes, reproducibility, repeatability, dyeing

Tabla de contenido

	Pág.
Cita.....	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Abstract.....	vi
Introducción	xiv
Capítulo I. Parte introductoria de trabajo.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	1
1.3 Objetivos del estudio.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Antecedentes investigativos.....	5
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	9
2.1 Marco teórico.....	9
2.1.1 Los Colorantes reactivos.....	9
2.1.1.1 Colorantes fríos de baja reactividad.....	10
2.1.1.2 Colorantes fríos de reactividad media.....	10
2.1.1.3 Colorantes calientes de baja reactividad.....	11
2.1.2 Características fisicoquímicas de los colorantes reactivos.....	13
2.1.2.1 Sustantividad.....	13
2.1.2.2 Afinidad.....	14
2.1.2.3 Migración.....	14
2.1.2.4 Reactividad.....	15

2.1.3	Mecanismo de sustitución nucleofílica.	15
2.1.4	Mecanismo de adición nucleofílica.	16
2.1.5	Agotamiento.	17
2.1.6	Fijación.	18
2.1.7	Tintura por agotamiento.	19
2.1.7.1	Teñido por empaquetados.	20
2.1.8	Autoclaves para el teñido de hilados.	25
2.1.8.1	Autoclaves de volumen fijo.	27
2.1.8.2	Autoclaves de volumen variable.	29
2.1.9	Maquinaria para el teñido de hilo en madejas.	31
2.1.9.1	Maquinaria para el teñido de hilo en madejas con el material estático.	32
2.1.9.2	Maquinaria para teñido en madejas con el material y el baño en movimiento. ...	33
2.1.10	Teñido por agotamiento de tejidos.	34
2.1.10.1	Maquinaria de jet de teñido.	35
2.2	Marco conceptual.	39
2.2.1	Balance de materia con respecto al electrolito usado en el proceso.	48
2.2.1.1	Ecuaciones generales consideradas en el proceso.	57
2.2.2	Diagramas de flujo del programa por ordenador.	63
2.2.3	Aspectos considerados en el teñido de telas.	66
2.2.3.1	% de Absorción de la tela.	66
2.2.3.2	Volumen mínimo de inicio de teñido.	66
2.2.3.3	Volumen de agua limpia de inicio.	66
2.2.3.4	Tiempo de rotación.	67
2.2.4	Aspectos considerados en el teñido de hilados.	67
2.2.4.1	Volumen muerto.	67

2.2.4.2	Densidad de las bobinas.	68
2.2.5	Marco legal.	68
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....		69
3.1	Aspectos físicos y químicos.	70
3.2	Reajuste de parámetros en laboratorio y planta.	71
3.3	Estudio de la repetitividad de tonos.....	73
3.4	Análisis de diferencias.....	73
3.5	Revisión de los controles.	74
3.6	Funciones críticas del Laboratorio.....	75
3.6.1	Inspección y verificación de los materiales textiles, productos químicos y auxiliares.....	76
3.6.2	Inspección y verificación de los colorantes.....	79
3.6.3	Gestión de la eficacia de los procesos internos del laboratorio.	81
3.7	Análisis económico.	83
3.8	Desarrollo del trabajo.	89
3.8.1	Recopilación de indicadores iniciales de reproducibilidad y repetitividad.	91
3.8.2	Determinación de parámetros técnicos de las máquinas de planta.	94
3.8.3	Cargado de parámetros al software de control de teñido.	102
3.8.4	Establecimiento de políticas de calidad específicos.	105
3.8.5	Revisión de curvas de laboratorio vs planta.	106
3.8.6	Equivalencias en tiempos.....	107
3.8.7	Equivalencias en adiciones.	108
3.9	Ensayos de reproducibilidad inversa.	109
3.10	Redefinición de curvas de laboratorio.	110
3.11	Aplicación de pruebas en planta.	113
3.12	Revisión de datos del software de control de teñido.....	114
3.13	Revisión de resultados iniciales.	116
Capítulo IV Análisis y discusión de los resultados.....		120

Conclusiones	125
Recomendaciones	127
Referencias Bibliográficas	129
Anexos.	132

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Colorantes Reactivos Ordenados de Menor a Mayor Reactividad.....	13
Tabla 2: Absorción de Humedad en Géneros de Punto y Planos.....	43
Tabla 3: Valores Medidos de Densidad 1.046 y Temperatura 39°C	55
Tabla 4: Costo Porcentual de No conformes.....	84
Tabla 5: Composición Porcentual del Costo de Una Partida de Teñido de Algodón	84
Tabla 6: Cálculo del Tiempo Consumido por las Partidas no Exitosas.....	86
Tabla 7: Obtención del Costo Total en Partidas Exitosas y Fallidas.....	87
Tabla 8: Análisis de Costos y Utilidades y Aumento de la Productividad.....	89
Tabla 9: Etapas del Desarrollo del Trabajo	89
Tabla 10: % De Matizados en Número de Partidas.....	92
Tabla 11: % De Matizados en Peso de Partidas	93
Tabla 12: Parámetros Iniciales de las Autoclaves 5 y 6	95
Tabla 13: Volúmenes Propuestos de las Autoclaves 5 y 6	101
Tabla 14: Evolución del Porcentaje de Matizados en Número de Partidas.....	116
Tabla 15: Evolución del Porcentaje de Matizados en Peso	117
Tabla 16: Tabla de Densidad de NaCl: Concentración (g/L) vs Temperatura(°C)	132
Tabla 17: Tabla de Densidad del Na ₂ SO ₄ : Concentración (g/L) vs Temperatura (°C) ..	133

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Reacciones de la Diclotriazina con la Celulosa	9
Figura 2: Colorantes Reactivos Ordenados de Mayor a Menor Reactividad	12
Figura 3: Reacción por Mecanismo de Sustitución Nucleofílica	16
Figura 4: Mecanismo de Adición Nucleofílica.....	16
Figura 5: Otros Grupos Reactivos.....	17
Figura 6: Esquema de la Reacción de los Colorantes Reactivos	19
Figura 7: Soportes del Tipo Rígido.....	22
Figura 8: Soportes del Tipo Compresible.....	22
Figura 9: Diagrama de Autoclave con Tanque de Expansión Separado	28
Figura 10: Diagrama de Autoclave con Tanque de Expansión Abierto.....	28
Figura 11: Esquema de Autoclave con Volumen Variable.....	30
Figura 12: Diagrama de Autoclave con Volumen Variable	31
Figura 13: Máquina Tipo Armario.....	33
Figura 14: Máquina de Teñido en Madejas con Movimiento Giratorio.....	34
Figura 15: Esquema de una Jet de Cuerda Única.....	39
Figura 16: Variables de una Buena Reproducibilidad y Repetitividad	46
Figura 17: Resultado de Rendimientos Diversos versus Rendimientos Homogéneos.....	47
Figura 18: Representación de una Curva de Teñido	49
Figura 19: Esquema de Medición de la Densidad	54
Figura 20: Diagrama de Flujo 1.....	56
Figura 21: Ejemplo de Diagrama de Flujo de Control del Proceso en Teñido de Telas ...	64
Figura 22: Ejemplo de Información Técnica de un Producto Químico (sal)	78
Figura 23: Ejemplo de Información Técnica de Auxiliar.....	78
Figura 24: Representación de Sensibilidad del Colorante a Variaciones de Parámetros	80
Figura 25: Lectura de Diferencia de Color.....	83
Figura 26: Tiempo Teórico Consumido por cada Nivel de Reproceso.....	86

Figura 27: Gráfica Sobrecosto de Partidas Totales vs % de RFT	88
Figura 28: Porcentaje de Matizados en Número de Partidas	93
Figura 29: Porcentaje de Matizados en Peso de Partidas	94
Figura 30: Esquema de Medición de los Volúmenes de la Autoclave	97
Figura 31: Diagrama de Flujo 2.....	103
Figura 32: Diagrama de Flujo 3.....	105
Figura 33: Conversión de Adición de Planta a Laboratorio	108
Figura 34: Curva Empleada en la Planta.....	111
Figura 35: Curva empleada por Laboratorio.....	112
Figura 36: Curva Redefinida para el Laboratorio.....	113
Figura 37: Evolución del % de Matizados en Número de Partidas	117
Figura 38: Evolución del % de Matizados en Peso de partidas Evolución del % de Matizados en Peso de partidas.....	118
Figura 39: Evolución del % de Partidas Matizadas en Planta por Quincena	119
Figura 40: Esquema del Sistema de Pesado Manual Controlado por Computadora	123

Introducción

El presente trabajo de investigación, recoge varios años de experiencia en el tratamiento del tema crítico de la reproducibilidad y repetitividad, de los tonos de las partidas, y naturalmente existen muchos criterios en las decisiones que se toman para mejorar sus resultados.

Este trabajo consta de 4 capítulos. El capítulo 1 aborda la descripción del problema que este estudio enfrenta, así como una serie de menciones descriptivas que se seguirán para conseguir mejorar la reproducibilidad y repetitividad con colorantes reactivos sobre materiales celulósicos.

El capítulo 2 describe de modo sucinto, aspectos de los colorantes reactivos, así como la tecnología convencional de las tintorerías, en las que se desenvuelven los procesos del teñido por agotamiento y algunos de sus parámetros y criterios inherentes.

El capítulo 3 menciona las actividades propias del estudio y plantea las soluciones al problema, basadas en los resultados y otros planteamientos basados en la experiencia acumulada.

El capítulo 4 aborda la evaluación de los resultados, así como las conclusiones finales del estudio y recomendaciones.

Capítulo I. Parte introductoria de trabajo

1.1 Generalidades.

Las tintorerías de algodón y otros artículos celulósicos utilizan de modo común los colorantes reactivos para el teñido de los artículos textiles en una gran variedad de formatos, como en hilados, cintas, flocas, telas, prendas, etc. con una variedad de tecnologías aplicadas en cada caso. Dentro de estos procesos el teñido por agotamiento es el de mayor uso y lograr una buena aproximación del tono final de la partida con respecto al patrón objetivo, es una de las funciones más complejas de resolver, por ello el “Mejoramiento de la reproducibilidad y repetitividad en el teñido por agotamiento con colorantes reactivos”, es una misión crucial de los profesionales que llevan este proceso.

1.2 Descripción del problema de investigación.

En el teñido con colorantes reactivos por agotamiento, un objetivo fundamental es la obtención de una buena aproximación del tono del color del artículo de la partida teñida, hacia el patrón y este es uno de los parámetros más críticos y complejos de obtener, y solo si el tono resulta aceptable, dentro de los diversos modos y marcos de aceptación en los que las áreas de control de calidad evalúan el parámetro, estos artículos podrán continuar con su proceso para culminar en el destino hacia el que fueron concebidos.

El tono de una partida, desviado del patrón, y fuera del marco de aceptación del área de control de calidad, implica asumir el reproceso de esta partida, con un sobre costo que puede oscilar entre 60 y 85% adicional por cada reproceso, lo cual implica que a partir del segundo reproceso ya el beneficio económico es negativo, además de que el daño físico y químico infringido al material puede hasta causar su inutilización para efectos de producir prendas de primera, esto es particularmente frecuente en empresas exportadoras, con los otros perjuicios alrededor del tema que van desde la reposición del material textil, pérdida de productividad, así como el atraso, incumplimiento de pedidos y mala imagen institucional de la empresa ante sus clientes.

Las razones que originan el defecto de fuera de tono, suelen ser diversas, como fallas en el control del proceso, graves discrepancias en las etapas del desarrollo del color con los procesos de producción, discontinuidad en la performance de los colorantes, productos químicos, maquinaria y demás insumos, hasta fallas en la forma de evaluar los tonos, la cual siempre tendrá una fuerte carga de criterios subjetivos a veces difíciles de manejar de las áreas de control de calidad o evaluación externa a pesar de que existan modos objetivos de medir y tratar el tema.

Los reprocesos son costosos por muchos aspectos. Además del sobre costo en productos, uso de máquina y mano de obra, el desplazamiento de la programación global en el espacio que consume, restando posibilidades de mejores cumplimientos de otros pedidos no solo en la tintorería, sino también en las áreas subsecuentes del proceso que también acarrearán sobre costos por pérdida de oportunidad.

Nuestro objetivo es entonces, investigar toda actividad del proceso de teñido con colorantes reactivos que intervenga directamente en el resultado del tono, buscando corregir la mala reproducibilidad y mala repetitividad, llevándola a niveles satisfactorios para el área de Control de Calidad, entendiendo además que la medición de esta información debería ser manteniendo los mismos niveles de aceptación, que al principio de la investigación.

Una tintorería que opere en condiciones de indicadores del teñido, desfavorables, no puede competir frente a otra con resultados superiores en este rubro, en la que incluso se obtengan teñidos RFT.

Teñir en el modo “Right First Time”, o RFT, que significa teñir con resultados de “Bien a la primera”, implica para una tintorería, producir, negando los matizados y reprocesos, beneficiándose de muchas otras ventajas como el ahorro económico, aumento de la productividad y el mejor posicionamiento institucional de la empresa. Pero para lograr esto, es indispensable alcanzar niveles muy bajos de tonos desviados, que es la razón

principal de los reprocesos. Por ello es necesario mejorar los resultados de la reproducibilidad y la repetitividad hasta alcanzar valores óptimos y sostenibles.

La reproducibilidad, está referida al grado de aproximación del tono obtenido en el lote de producción tomando como patrón el tono de la muestra de ensayo del laboratorio, es decir que la reproducibilidad evalúa la eficacia del proceso en el binomio laboratorio-planta. Y de aquí se sostiene como hipótesis que la reproducibilidad se convierte en una serie de técnicas que tienen como objetivo minimizar las diferencias entre los procesos que usa el laboratorio, y los que usa la planta.

La repetitividad, está referida al grado de aproximación del tono de los lotes en colores ya procesados en lotes anteriores, es decir en lotes de tonos repetidos. Aquí se consideran algunos de los parámetros que hacen distinto un lote a otro como variaciones en la relación de baño o variaciones por empleo de máquinas distintas. La buena repetitividad obedece a una gestión eficaz de los procesos en la Planta.

¿Cuál es el origen de la mala Reproducibilidad y la Repetitividad?

La reproducibilidad y la repetitividad son funciones de una serie de variables dependientes o directas y variables independientes o indirectas. El desconocimiento, mal manejo de la información, y descoordinaciones entre las funciones del laboratorio y la planta, hacen que el mal manejo de estas variables no permita obtener resultados óptimos.

¿Qué variables intervienen en la Reproducibilidad, y la Repetitividad?

Entre las variables directas del problema se mencionan las siguientes:

- Concentración de electrolito
- Relación de baño correcta
- Curvas de laboratorio y planta equivalentes
- Nobleza de los colorantes
- Óptimo pH de fijación

Y entre las variables indirectas se mencionan:

- Calidad y regularidad del material textil

- Calidad del agua (dureza, presencia de bicarbonatos, etc.)
- Tratamiento previo del sustrato
- Calidad y regularidad de los colorantes, auxiliares, y productos químicos
- Política rigurosa de procedimientos

¿Es posible reducir la mala Reproducibilidad, y la mala Repetitividad en el teñido por agotamiento del algodón con colorantes reactivos?

El propósito de este estudio, es encontrar el origen del problema, el cual por lo general es integral, es decir tiene varios componentes, ocultos en cada etapa del proceso que inicia con el desarrollo del color hasta el acabado de la tela materia textil.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general.

Crear e implementar procedimientos de trabajo en la planta y en el laboratorio, para el mejoramiento de la reproducibilidad y la repetitividad de los tonos de las partidas de planta en el teñido por agotamiento con colorantes reactivos sobre materiales celulósicos.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Recopilar información histórica que refleje la realidad de este tema antes de iniciar nuestras actividades en la tintorería, y su impacto luego de implementar los cambios que corrijan la mala reproducibilidad y repetitividad.
- Establecer un sistema con empleo de información real y específica para el control de los parámetros del teñido en la planta, para el control del electrolito, y otra para el cálculo de los parámetros relativos a la relación de baño.
- Adaptar el sistema de planta para su uso exclusivo en el laboratorio, para sincerar y proyectar la información específica de cada lote desde el laboratorio.
- Analizar los casos de partidas fuera de tono de fuertes desviaciones, las cuales son las que más información aportan.

- Determinar por ensayos, la curva de teñido más apropiada en laboratorio, para imitar la curva real desarrollada en planta, y analizar la nobleza y compatibilidad de los colorantes para determinar su performance.

1.4 Antecedentes investigativos.

Al revisar información, que reúna datos o trabajos, concernientes a este tema, tanto en tesis de grado o postgrado, o trabajos de investigación, no se encuentra mayor información, en el ámbito local, aunque si existe información auxiliar en temas implicados en trabajos y estudios de otros países, enfocados sobretudo en la importancia de lograr establecer mejores condiciones del teñido con colorantes reactivos, menor producción de efluentes coloreados contaminantes y el teñido por agotamiento en modo RFT, o bien a la primera con énfasis, en la serie de ventajas que implica el trabajar de este modo.

Se hacen menciones genéricas, a algunos factores que intervienen en la eficacia del proceso de teñido por agotamiento con colorantes reactivos, pero en general no explican de modo riguroso y específico como realizar estas maniobras, que conduzcan al éxito de la aproximación del tono de las partidas al objetivo. Se mencionan algunos de estos documentos.

Martinez (1997) “Uso eficiente de agua en el teñido de telas de poliéster-algodón” Esta es una tesis de maestría en ingeniería ambiental, que busca disminuir los excesos en el consumo de agua de una tintorería de poliéster-algodón, ubicada en California, Estados Unidos. Su análisis inicial arroja que el 71% de sus lotes son teñidos en BPV, bien a la primera vez, y un 22% son reprocesados. Su enfoque apunta a que, si disminuye el indicador de reprocesos, disminuirá de modo significativo el exceso en el consumo de agua. Los reprocesos se debían básicamente por el defecto de fuera de tono. La metodología que sigue es abordar 3 temas, que por hipótesis influyen en los fuera de tono, y aplicar cambios significativos para contrarrestar esto, con una serie de ensayos, concluyendo luego que el origen principal es la mala reproducibilidad entre laboratorio y planta. Además, establece modos de disminuir los tiempos muertos de proceso con una

mejor regulación de los parámetros mecánicos de algunas máquinas. En el caso de la mala reproducibilidad entre el laboratorio y la planta, en materiales del poliéster 100%, tomaron como medidas, aumentar los tiempos de agotamiento para los colores oscuros y disminuir los tiempos en el caso de los colores claros. Lo interesante de este trabajo de estudio es, que desde las conclusiones iniciales es evidente la relevancia e implicancia de atacar el problema de la mala reproducibilidad entre el laboratorio y la planta, apuntando en este estudio su participación en aspectos como el exceso en el consumo de agua, y además la autora determinó que la razón más importante en el origen de la mala reproducibilidad entre el laboratorio y la planta, eran las diferencias entre los procesos desarrollados por el laboratorio y los procesos desarrollados por la planta.

Berger (2005) en su tesis de ciencias “Teñido con colorantes reactivos con mejora en la afinidad y la Fijación” en la Universidad del Estado de Carolina del Norte, evaluó cierta marca comercial de colorantes reactivos bifuncionales modificados, y su mejora en la afinidad y fijación, en el teñido sobre materiales celulósicos, teniendo como objetivo final, producir con un mayor agotamiento y fijación y menor coloración de las aguas efluentes que alcancen menores niveles de contaminación ambiental. En las conclusiones, hace interesantes menciones con respecto a parámetros de teñido como temperatura de teñido, concentración de electrolito, así como la forma de la molécula del colorante y su influencia con respecto a mejores rendimientos de afinidad y fijación, los mismos que en el estudio de la reproducibilidad que involucra este estudio, es una de las propiedades que deben de ser optimizadas, si se pretende mejorar la reproducibilidad en el teñido con colorantes reactivos. En el presente trabajo de tesis, no se plantea un cambio en los colorantes que se empleen, mientras no se desarrollen los cambios propuestos para el proceso y la gestión tanto del laboratorio, como de la planta.

Öztürk (2011) en su tesis de maestría “Optimización del teñido reactivo de fibra de algodón con sistema de monitoreo en tiempo real” en la Universidad Técnica de Estambul, realizó un estudio del comportamiento en tiempo real de los colorantes reactivos

en una tricromía, empleando colorantes reactivos de la marca Novacron F-N. analizando exclusivamente el agotamiento individual de cada colorante, esto es posible con el uso de equipos espectrofotométricos que evalúan el licor del baño de teñido. Este análisis arroja datos interesantes como las condiciones óptimas de máximos agotamientos, que a la larga redundan además de condiciones ideales de máxima reproducibilidad, máximo aprovechamiento del colorante, menores costos, menor coloración en las aguas efluentes, que implican menores costos de decoloración de baños efluentes y menor impacto ambiental. Estos análisis arrojan otro tipo de datos, dado que las condiciones del teñido como temperatura, electrolito, álcali y pH afectan a los 3 colorantes a la vez, pero sus respuestas muestran diferencias en sus comportamientos, esto permite inferir posibles incompatibilidades entre los colorantes participantes de la tricromía, y redundar en mejores selecciones de colorantes, antes esto solo era posible de notar con resultados post-teñido y en volúmenes de material que permitían detectar los defectos producidos por la incompatibilidad de los colorantes. Otros datos importantes de este estudio, fueron las condiciones de técnicas del teñido como la dosificación progresiva que no solo permite una tintura igualada, sino que logró también mejores tasas de agotamiento, así como la dosificación del electrolito y las condiciones de temperatura iniciales, que también lograron mejores agotamientos.

Amarasekara (2012) en su trabajo “Mejora de la reproducibilidad del color en la producción por lotes de Tejidos de algodón en Jersey simple con teñido reactivo”, planteó que la buena reproducibilidad en el teñido de algodón con colorantes reactivos depende en gran medida del tono logrado por el blanqueo del previo, restándole importancia a los demás parámetros del teñido, por lo que, en sus ensayos, mantiene todos los demás parámetros constantes. Concluye que el grado de blanco más alto, sin que ello lleve a dañar el material, así como un pH de inicio de 7, y una buena absorbencia, 3 segundos según la norma americana AATCC 79, garantizará una buena reproducibilidad. Esta tesis de maestría, desarrollada en la Universidad de Moratuwa en Sri Lanka aborda un segmento

del problema, el cual no se tratará en este estudio, porque está enfocado en una etapa inicial del proceso, y aunque la tonalidad del previo si influye en los casos de colores de profundidad clara y algunos de profundidad media, en una tintorería de algodón de producción regular constante, este tema es regularmente superado y controlado, lo que lo convierte en un tema de trascendencia secundaria, para efectos de incidencia del defecto de fuera de tono. Sin embargo, el tema del control de la tonalidad del previo, sobre todo si este es blanqueo, así como la suficiente hidrofiliidad del sustrato ya pre-tratado, siempre debe formar parte del control rutinario del proceso de teñido de todo lote.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

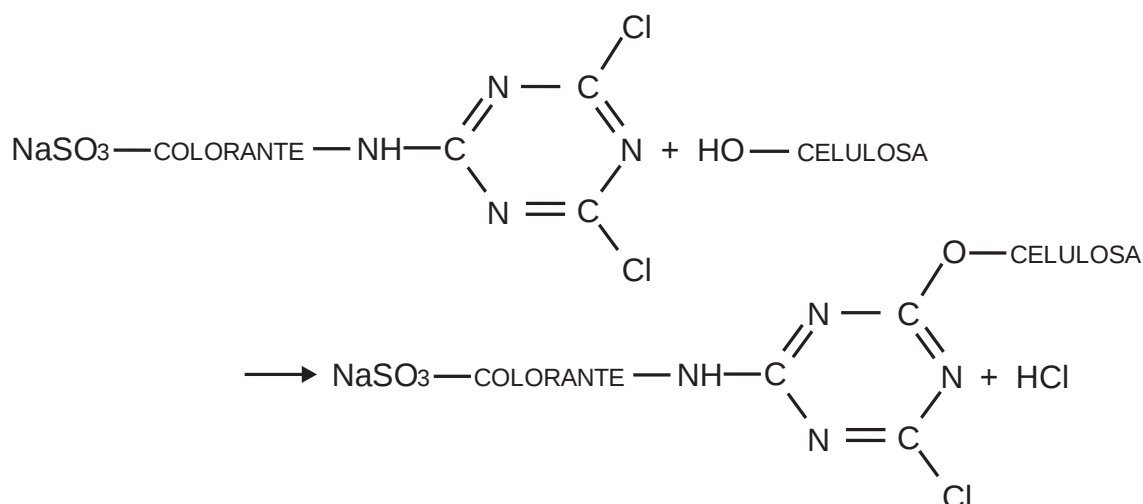
2.1 Marco teórico.

2.1.1 Los Colorantes reactivos

Por definición genérica, se conoce como colorantes a “aquellas sustancias que dan color al material sobre el cual han sido anclados,” (Trotman, 1970, pág. 303) Estas sustancias, reflejan selectivamente ciertas longitudes de onda, mientras absorben otras. Solo un muy limitado número de moléculas orgánicas son capaces de desarrollar esta propiedad de producir color.

Figura 1:

Reacciones de la Diclotriazina con la Celulosa



Nota: Adaptado de Trotman, 1970, p. 521.

Todos los colorantes reactivos, los cuales se combinan con los grupos hidroxil de la celulosa son también, en mayor o menor medida, hidrolizados por los grupos hidroxil del baño de tintura, provenientes del álcali

A lo largo de la historia de los colorantes reactivos, estos se han innovado entonces con nuevos grupos reactivos los cuales poseen químicamente diversas características que definen los modos en que son aplicados, además de las facultades que ofrecen, una forma de clasificarlos entonces se sustenta en el modo de ser aplicados, más específicamente

por su temperatura. Es así que los consumidores de estos productos suelen llamar como colorantes fríos de alta reactividad, a los que se aplican entre los 40 y 50°C, colorantes fríos de reactividad media a los que se aplican a 60°C, y a los que se aplican entre los 80 y 95°C como colorantes calientes de baja reactividad. Esto está asociado a la reactividad química de los grupos reactivos la cual es una propiedad físico-química que influye dramáticamente en otras como la sustentividad y afinidad, que definen la posibilidad de obtener una tintura igualada o no (Trotman, 1970).

2.1.1.1 Colorantes fríos de baja reactividad.

Estos colorantes tienen entre sus ventajas, su menor costo de energía, debido a que son aplicados entre los 40 y 50°C, rendimientos tintóreos altos, matices muy brillantes y en general y de acuerdo al tipo químico buenas solidez en húmedo y a la luz. Y entre sus desventajas se mencionan su tendencia a formar tinturas poco igualadas especialmente en materiales muy reactivos como el algodón mercerizado o las viscosas, por lo que las curvas de teñido, deben ser cuidadosamente diseñadas, además de sus altos precios.

2.1.1.2 Colorantes fríos de reactividad media.

En el Perú, estos son los más usados por las tintorerías que procesan algodón y viscosas, y dentro de este grupo se encuentran la casi totalidad de los llamados colorantes Bifuncionales, y Polifuncionales. Entre sus ventajas están sus bajos precios, y su mejor rendimiento tintóreo en especial los de más de un grupo reactivo. Sus propiedades en solidez al húmedo y a la luz son muy variadas, pero en general en la solidez a la luz, no superan a los de alta reactividad. Entre los grupos reactivos de este grupo podemos mencionar a la Vinilsulfona, Vinilsulfona-Monoclorotriazina, Vinilsulfona-Monofluortriazina entre otras con las marcas Remazol R, Remazol RGB, Levafix CA, Novacron C, Sumifix Supra, etc. (Asociación argentina de químicos y coloristas, 2008)

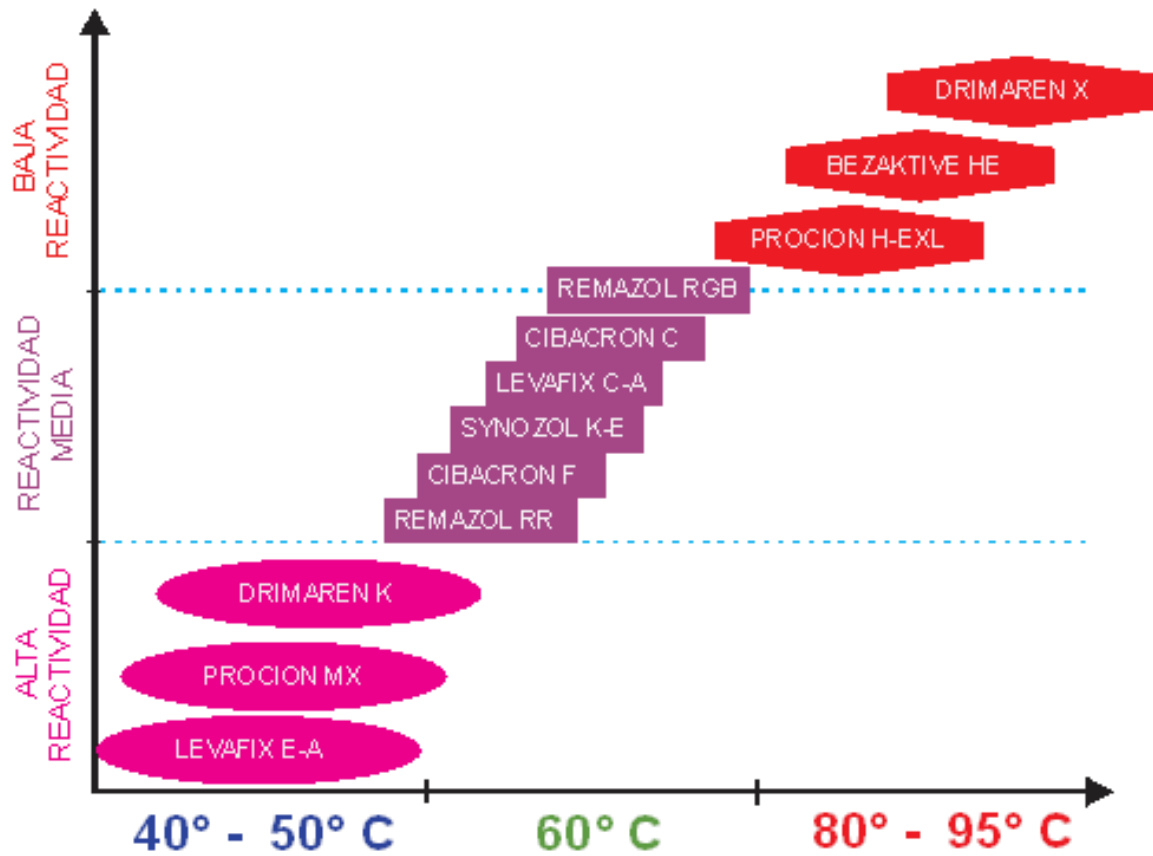
2.1.1.3 Colorantes calientes de baja reactividad.

De este grupo, que se aplican a temperaturas entre los 80 y 95°C se mencionan como ventajas, su mayor confianza en la obtención de tinturas igualadas, debido justamente a su baja reactividad que permite una mayor y mejor distribución del colorante sobre la superficie del textil antes de su fijación química con la adición del álcali. Un grupo reactivo clásico de baja reactividad es la Monoclorotriazina con las marcas Procion HE, Bezactive HE que, debido a su alta resistencia a los álcalis en la mayoría de sus casos, son destinados de modo casi exclusivo a procesos como el mercerizado post-tintura. Otro grupo reactivo de este grupo es la Tricloropirimidina con marcas como Drimaren X.

Entre sus desventajas, se mencionan sus mayores costos en energía y en general menores rendimientos tintóreos que los colorantes fríos y menor brillo en sus matices.

Figura 2

Colorantes Reactivos Ordenados de Mayor a Menor Reactividad



Nota: En esta ilustración, se muestran diversas marcas de colorantes, en sus temperaturas de aplicación versus su reactividad química. Adaptado de Revilla, 2012.

Tabla 1*Colorantes Reactivos Ordenados de Menor a Mayor Reactividad*

Abreviatura	Grupo reactivo	Marca comercial	Proveedor
TCP	Tricloropirimidina	Drimaren Z	Archroma
TCP	Tricloropirimidina	Cibacron TE	Hunstman
MCT	Monoclorotriazina	Procion XL+	Dystar
MCT	Monoclorotriazina	Procion HE-XL	Dystar
MCT	Monoclorotriazina	Cibacron E	Hunstman
MCT-VS	Monoclorotriazina-vinilsulfona	Sumifix supra	Sumitomo
VS	Vinilsulfona	Remazol	Dystar
VS	Vinilsulfona	Sumifix	Sumitomo
MFT-VS	Monofluortriazina-vinilsulfona	Cibacron C	Hunstman
DCQ	Dicloroquinoxalina	Levafix E	Dystar
MFT	Monofluortriazina	Cibacron F	Hunstman
MFT	Monofluortriazina	Levafix EN	Dystar
DFMCP	Difluoromonocloropirimidina	Levafix EA	Dystar
DFMCP	Difluoromonocloropirimidina	Drimaren R/K	Archroma
MFCT	Monofluorclorotriazina	Cibacron LS	Hunstman
DCT	Diclorotriazina	Drimaren K	Archroma
DCT	Diclorotriazina	Procion MX	Hunstman
DCT	Diclorotriazina	Basilen M	Sigma-aldrich

Nota: Adaptación de Hussain, 2002.

La gran variedad de estructuras químicas de los grupos reactivos de las moléculas de estos colorantes, así como los grupos auxóchromos, les confieren una variedad grande de comportamientos. Los mismos que conviene mencionar de modo cualitativo como características fisicoquímicas que definen también su modo de aplicación y elección para su uso con determinados materiales.

2.1.2 Características fisicoquímicas de los colorantes reactivos.

2.1.2.1 Sustantividad.

Esta característica fisicoquímica describe el comportamiento de un soluto, el cual en presencia de un material sumergido en la solución prefiere ser absorbido por el material antes de permanecer en la solución, y permanecer ahí debido a que el nuevo estado del soluto al interior del nuevo sistema es más estable, de menor energía, y sobre todo los enlaces que forma el soluto con el material, son más fuertes que con el solvente. Para el

caso del teñido textil con colorantes reactivos, el soluto es el colorante reactivo, la solución es el baño de teñido y el material es el textil en este caso celulósico, pero esto es aplicable a todo teñido con cualquier tipo de colorante, incluso en algún otro proceso por agotamiento como el suavizado, o el fijado.

2.1.2.2 Afinidad.

La afinidad describe el mismo comportamiento que define a la sustantividad, viene siendo una medida cuantitativa de la sustantividad porque mide la diferencia del potencial químico del colorante entre dos estados, el primero es, el colorante al interior de la solución, y el segundo el colorante al interior de la fibra textil. De acuerdo a la definición termodinámica todo sistema tiende a la menor energía, de ahí el potencial químico del colorante dentro del textil es menor al del colorante en la solución. La diferencia resulta negativa y solo en este caso procede de modo espontáneo (Asociación argentina de químicos y coloristas, 2008).

2.1.2.3 Migración.

Esta propiedad al igual que las demás, depende de la estructura química de la molécula y consiste en la capacidad que tienen los colorantes para desplazarse por dentro de la fibra, una vez que estos han logrado subir a la superficie del sustrato, depende además de interacciones eléctricas con la molécula de la celulosa, su generación de puentes hidrógeno entre otras. Esta es una propiedad que influye poderosamente en la obtención de una tintura igualada, si la migración es alta, aumentan considerablemente las posibilidades de conseguir una tintura igualada si no lo es se debe recurrir a curvas de teñido que retarden la reacción. De los dos grandes grupos de estructuras químicas de los grupos reactivos, existe evidencia de que los de grupos reactivos alifáticos como las vinilsulfonas, desarrollan una menor migración, que los de moléculas aromáticas, esto puede explicarse por su forma estructural, que logran menor impedimento geométrico-estérico de los alifáticos frente a los de estructura aromática.

2.1.2.4 Reactividad.

La reactividad de un colorante reactivo, es la propiedad de éste de lograr enlaces covalentes entre su grupo reactivo y los grupos hidroxilos de la cadena celulósica, una forma de medir este indicador es por la velocidad de reacción, aunque no es un parámetro riguroso, debido a que compiten colorantes con diferentes números de grupos reactivos. Además de ello, la velocidad para formar enlaces covalentes se produce casi totalmente solo después de la adición de álcali y esta velocidad también depende de la naturaleza del álcali empleado. Los tintoreros prefieren agregar como alcalinizante inicial el carbonato de sodio, debido a su más lenta acción en la formación del enlace, y la soda cáustica de modo complementario por su mayor acción sobre el incremento del pH. Pero esta configuración de álcalis empleados no es universal. La reactividad es una propiedad que influye de modo gravitante en el porcentaje de colorante reactivo que logra formar enlace covalente de todo el que es agregado al baño de teñido, por lo que los esfuerzos de los productores de colorantes apuntan siempre a crear nuevas moléculas que permitan lograr un mayor rendimiento.

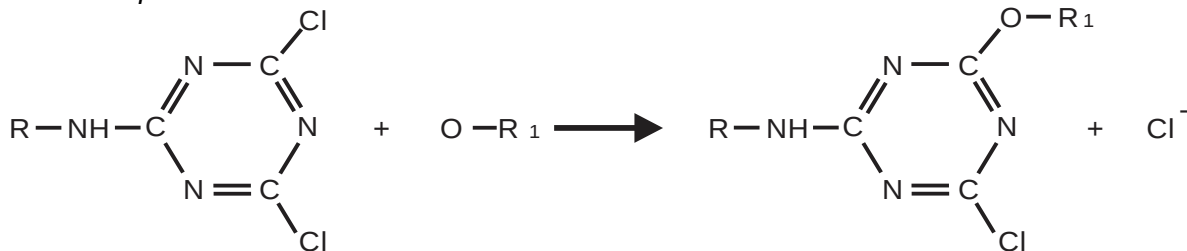
Los mecanismos de reacción de los colorantes reactivos se resumen en dos tipos: por sustitución nucleofílica, el que emplean los de moléculas aromáticas como las clorotriazinas y por Adición nucleofílica, como el que emplea los de moléculas alifáticas como las vinilsulfonas. (Asociación argentina de químicos y coloristas, 2008)

2.1.3 Mecanismo de sustitución nucleofílica.

Debido a la presencia de Halógenos y al Nitrógeno heterocíclico, los átomos de Carbono del anillo triazínico, adquieren una carga positiva, y son así, susceptibles de un ataque nucleofílico por grupos ionizados (IJEMS, 2013, pág. 309).

Figura 3:

Reacción por Mecanismo de Sustitución Nucleofílica



Nota: Adaptado de IJEMS, 2013, p. 309.

En donde R es el Colorante y R1 es la molécula o grupo ionizado, el cual puede ser la Celulosa o el agua.

2.1.4 Mecanismo de adición nucleofílica.

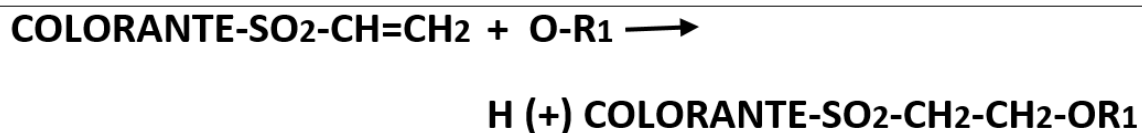
Un ejemplo de este mecanismo se da con las del tipo β —Sulfato Etil Sulfona.

COLORANTE-SO₂-CH₂-CH₂-OSO₃H

El grupo sulfona, atrayente de electrones, provoca una deficiencia de electrones en el carbono terminal posibilitando un ataque nucleofílico, produciéndose una reacción de adición (IJEMS, pág. p. 309).

Figura 4: *Mecanismo de Adición Nucleofílica*

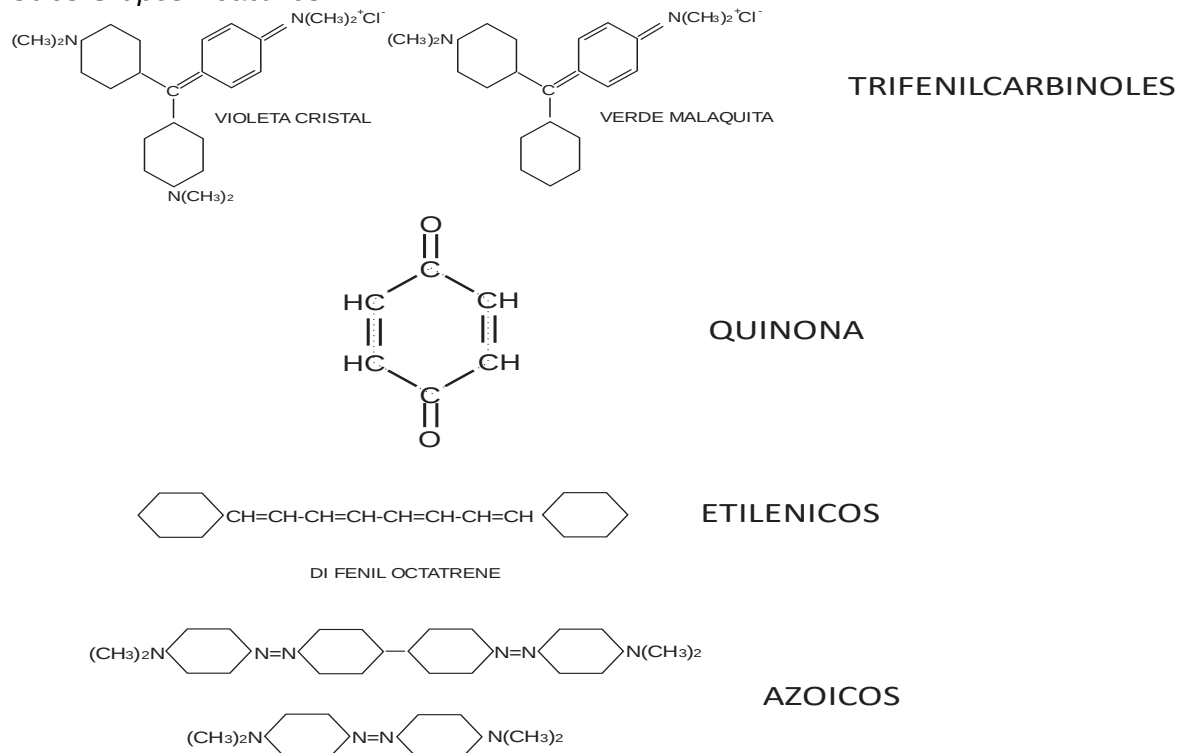
Mecanismo de Adición nucleofílica



Nota: Donde [O-R1] es [CELULOSA O-] ó [OH-] del agua. IJEMS, 2013.

Figura 5

Otros Grupos Reactivos



Nota: Adaptado de Costa, 2010, p. 253.

Mientras los grupos cromóforos, son las partes funcionales de la molécula, responsables de la absorción, los grupos auxóchromos son sustituyentes de la absorción y alteran las longitudes de onda, produciendo mayor o menor intensificación del color, y viraje del matiz, bajo los siguientes efectos: Desplazamiento Batocrómico, La absorción el cromóforo se desplaza hacia mayores longitudes de onda; Desplazamiento Hipocrómico, La absorción el cromóforo se desplaza hacia menores longitudes de onda; Efecto Hipsocrómico, aumenta la energía reflejada produciendo mayor intensidad en el color; Efecto Hipocrómico, disminuye la energía reflejada produciendo menor intensidad en el color. Entre los grupos auxóchromos, tenemos los grupos metilo, halógenos, hidroxilo, alcoxi y amino (Costa, 2010, pág. 253).

2.1.5 Agotamiento.

El agotamiento es la cantidad porcentual del colorante que logró penetrar en la fibra, frente al total agregado a la solución. En el sentido estricto cuando se trata de colorantes

reactivos, el agotamiento es de dos tipos, un agotamiento primario que se da en la fase inicial del teñido, donde se requiere que el colorante agote, en presencia de electrolito tratando de que la mayor parte de éste pose sobre el textil y procede por el aporte de un catión pequeño como el sodio de modo común, neutraliza la repelencia del textil, ya cargado electronegativamente luego del tratamiento previo inicial, por las moléculas aniónicas del colorante, las cuales también desarrollan cargas eléctricas negativas, y que sin este pequeño catión, resultaría un acercamiento muy escaso entre la celulosa y el colorante.

Este agotamiento primario, es útil solo hasta antes de la adición del álcali, ya que el objetivo medular del teñido con colorante reactivos es crear enlaces covalentes, y los enlaces que se forman durante el agotamiento primario son solo intermoleculares, con muy débiles fuerzas de unión. Luego de la adición del álcali se forman enlaces covalentes, pero también por alteración del pH del baño, se produce un incremento del agotamiento a partir del colorante que permanecía en la solución lo que representa un agotamiento secundario. Otro de los parámetros que influyen en el agotamiento es la temperatura, así en los colorantes de baja sustentividad el agotamiento aumenta al aumentar la temperatura debido al incremento en la velocidad del desplazamiento de las moléculas, pero es de efecto contrario en los colorantes de alta sustentividad, en donde la baja temperatura favorece a un mayor agotamiento porcentual.

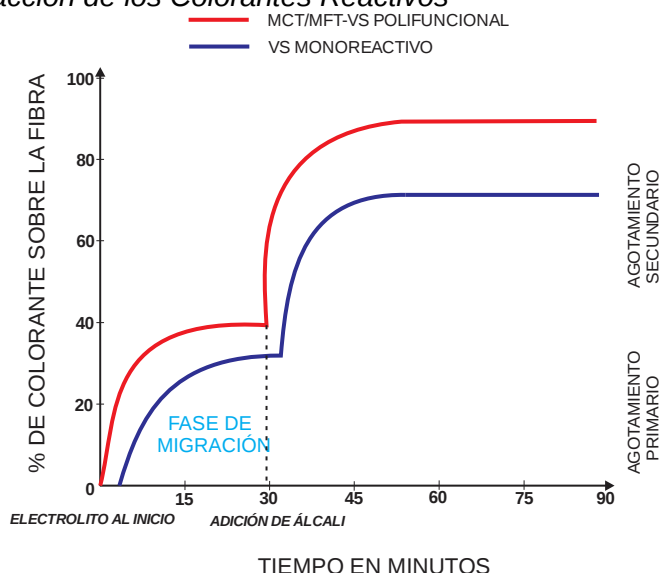
2.1.6 Fijación.

La fijación es la función de eficacia del agotamiento, es decir la parte del colorante agotado que logró formar un enlace covalente con la celulosa. Lo que no formó enlace covalente, debería ser eliminado mediante jabonados y enjuagues, porque perjudicaría los objetivos de buenas solidez en húmedo. Cuando aparecieron los colorantes reactivos la fijación variaba entre el 40 y 60%, del colorante inicial agregado, esta cifra fue llevada a un 70% aun con colorantes mono-reactivos, con la aparición de los colorantes poli reactivos, esta cifra se incrementó a un rango de entre 75 y 90 %. Aunque también es pertinente

mentar que, con desarrollos posteriores en la química de estos colorantes, se incrementó también la profundidad o saturación del color que estos lograban, requiriéndose de menos colorante para lograr mayores intensidades. (Revilla, 2012)

Figura 6

Esquema de la Reacción de los Colorantes Reactivos



Nota: Adaptado de Revilla, 2012.

2.1.7 Tintura por agotamiento.

En el conjunto de técnicas, que se han desarrollado a lo largo de la historia usando la gran diversidad de maquinarias que existen para tal efecto, para aplicar color a los textiles. Dentro de este contexto, se contempla el teñido por agotamiento, el cual se entiende como un proceso en el cual, el colorante que se encuentra disuelto dentro de una solución se fija sobre la materia textil a partir de una transferencia, promovida por parámetros fisicoquímicos que han sido aprovechados o creados por la química sobre el colorante y también contrarrestando impedimentos que puede tener el proceso por la naturaleza del sustrato o hasta del soluto, el cual en general se trata del agua.

En el agotamiento entonces, se crea un sistema en el que se sumerge o se pone en contacto hidromecánico la solución con el colorante y otras sustancias auxiliares del proceso con el textil y con otros parámetros externos como la temperatura y presión, se promueve que la mayor parte posible, del colorante disuelto se transfiera al textil

disminuyendo la cantidad del colorante disuelto en el baño. En estos procesos se usa una variable crítica en el éxito de la Reproducibilidad y Repetitividad de las partidas que es la Relación de Baño, la cual es la proporción entre el peso seco del textil y el volumen del baño completo que alberga al colorante y todas las demás sustancias implicadas. Esta variable tiene la dimensión de Kg textil seco/ Litros del baño total.

2.1.7.1 Teñido por empaquetados.

El teñido de textiles por empaquetados, es una forma popular y antigua de aplicar color a los diversos formatos de materiales textiles a los que se denominan como empaquetados. El término empaquetado está referido a un cuerpo sólido, semirrígido, aunque de naturaleza permeable, conformado por apilamiento o plegado sucesivo de numerosas capas de fibras textiles, por ejemplo como hilo enrollado, formando una bobina o queso, o tela enrollada formando un plegador, o floca apisonada dentro de una jaula agujereada, u otros formatos que tienen en común, que dada su permeabilidad es posible irrigar todo su material con una solución presurizada a un valor tal que le permite llegar de modo uniforme a todas las capas que conforman el empaquetado, y este flujo atraviesa el empaquetado o paquete, en dirección radial, desde el centro del paquete, que normalmente es un bastidor agujereado a través de cuyos agujeros inicia el fluido su paso a través del paquete.

Por lo general el sentido de movimiento del flujo es de adentro hacia afuera I – E, como de afuera hacia adentro, E – I. en el caso de la floca teñida en jaula aunque si es posible usar ambos sentidos, por lo general se suele usar solo el sentido de dentro hacia afuera, esto debido a que se trata del empaquetado más grande que se usa, Y la fuerza que se requiere para vencer la resistencia que implica atravesar el paquete en el sentido adentro-fuera es más sencillo y efectivo de vencer que en el sentido contrario, además tratándose de floca la igualación no representa una anomalía insalvable.

Teñido por agotamiento de hilados.

El teñido de Hilados es uno de los más antiguos métodos de teñidos de textiles. Esto es aun ampliamente usado en tres variantes. El teñido de hilos en madejas, el teñido de hilos en bobinas, y teñido de hilos enrollados sobre un plegador para teñido. El teñido de hilados provee buena absorción del color y una adecuada penetración. Permite la combinación de varios colores en un mismo tejido, y así otorgar una amplia variedad de diseño de tejidos. El hilo teñido en paquetes tiene además algunas ventajas, ya que requiere menor trabajo para teñir la fibra, los paquetes tiñen rápidamente e incluso pueden ser teñidos a alta temperatura.

En las máquinas para teñir paquetes, la solución tintórea pasa a través de la materia textil, la cual debe estar dispuesta de forma tal que se asegure un caudal uniforme y constante. Cálculos cinéticos han determinado, que para asegurar una tintura igualada este valor debe ser de por lo menos 25 litros/cm²/minuto.

La solución sirve de vehículo al colorante, el cual por presión es forzado a un intercambio íntimo con el material, la igualación del teñido se ve indudablemente afectada también por la velocidad de fijación del colorante sobre el textil, mientras mayor sea esta velocidad menores serán las posibilidades de lograr una tintura igualada, así de modo contrario mientras el flujo neto sobre el paquete, sea mayor serán mayores las posibilidades de conseguir una buena igualación, aunque esto tiene mayor validez en subprocesos críticos de la curva total de teñido. En el caso del teñido de materiales celulósicos con colorantes reactivos, sin duda el más crítico de ellos es el momento de la fijación, es decir a partir de la adición del álcali, en donde el flujo del baño debe ser constante y suficiente. Otro subproceso que reviste vital importancia, es la igualación inicial, es decir desde el momento en que inicia su ingreso el colorante, y esto es válido para cualquier tipo de colorante.

La tintura de hilos en bobinas es uno de los más usados, ya que se reducen los costos, en relación a la tintura en madejas no solo por menores relaciones de baño sino

también por menor manipulación en el traslado de los formatos de cono a madeja y cono a bobina. El empaquetado del hilado para ser teñido en forma de bobina se efectúa, por el arrollado del hilo sobre un soporte agujereado, a través de cuyos orificios penetra el baño para ponerse en contacto con la fibra. Estos soportes se pueden clasificar de acuerdo a su deformidad en rígidos, los cuales no se deforman durante el proceso de teñido, es decir las deformaciones por variaciones de tensión del material son absorbidas solo por el material, mientras que en los soportes de tipo compresible se deforma durante el proceso del tratamiento en húmedo, absorbiendo total o parcialmente las tensiones que se producen en el hilado durante el tratamiento.

Figura 7

Soportes del Tipo Rígido



Nota: Adaptado de Polyall Plásticos (2015) <http://polyall.com.br/es/productos>.

Figura 8

Soportes del Tipo Compresible



Nota: Adaptado de onereel, 2012.

Maquinaria de teñido de hilados.

De acuerdo a las características del hilado, este puede ser destinado a cierta maquinaria, considerando que dentro de los puntos que definen el tema, se ubican como principales el título del hilado, el material de las fibras del hilo y el aspecto final que requiere, si este debe ser esponjoso o no, además de otros aspectos más específicos como el grado de igualación que se requiere. Con respecto al título, las autoclaves de teñido en bobinas son bastante versátiles, prácticamente no tienen restricciones por el título, lo cual no sucede siempre con las máquinas de teñir madejas, las que, por lo general son destinadas para el teñido de hilados gruesos, debido a la muy baja productividad que representaría teñir hilados finos con relaciones de baño muy largas de 1/15 a 1/40, como en el caso de las máquinas de teñir en madejas y peor aún en aquellas con movimiento de los brazos que portan las madejas, en la práctica los hilados de títulos finos tienden a enredarse sobre todo en aquellos de torsiones altas, mientras que en el caso de bobinas las altas torsiones producen encogimientos altos y endurecimiento de la bobina pero no existen enredos.

Por el tema del material del que están hechos los hilados, las autoclaves de bobinas son nuevamente más versátiles, siendo ideales para el teñido de hilados de poliéster a altas temperaturas, mientras que las máquinas de madejas rara vez tiñen a temperaturas superiores a los 105°C, y cuando se requieren teñir hilados de poliéster se debe recurrir al uso de auxiliares que aumentan el agotamiento, con los impedimentos en ciertos colorantes dispersos que este proceso implica.

En el caso de hilados hechos de fibras acrílicas o modacrílicas, en los que, las altas tensiones que se producen en las bobinas, infieren a estos hilados un aspecto estirado inconveniente, mientras que las máquinas de teñir madejas por desarrollar mucho menos tensión logran un aspecto más esponjoso. Y con respecto a este último punto, en general las máquinas de teñir en madejas por desarrollar menores tensiones en todos los materiales, incluyendo el algodón, logran hilados esponjosos lo cual es más apreciado en los títulos gruesos.

Por ultimo en relación al tema de la igualación, no existen definiciones concluyentes y de vigencia universal porque son muchas las cuestiones alrededor de este tema, pero las evaluaciones del control de calidad de tejidos a partir de hilados teñidos en máquinas de bobinas o de madejas, arrojan algunas observaciones interesantes, existen defectos de igualación en tejidos a partir de hilados teñidos en bobinas que demuestran la debilidad que suelen tener las bobinas en su igualación en los vértices o zonas superior e inferior de la bobina y en las zonas cercanas al núcleo agujereado, esto último que es un problema mucho más común que el primero, y se corrige mermando parte del material para evitar un tejido con aspecto mal igualado, con la consiguiente pérdida del peso a embalar, si es que no se le puede buscar otro destino.

El primero, en la mayoría de casos está ligado a una insuficiente irrigación del baño en los vértices o zonas superior e inferior de la bobina, que dada su ubicación y frente a la dirección radial que sigue el flujo del baño presurizado, siempre serán las zonas más afectadas, y no solo por el teñido propiamente, sino también por el aclarado que podría ser algo distinto en estas zonas, en las que eventualmente habría deficiencias en la remoción del colorante hidrolizado, siendo particularmente las zonas superior e inferior de las bobinas susceptibles a la aparición de manchas y aureolas, y esta tendencia en el caso de hilados de algodón, teñido con colorantes reactivos o directos se agrava al emplear fijadores en el acabado.

Por otro lado, las máquinas de teñir madejas, con una pobre irrigación y sobre todo en las máquinas de madeja estática, pueden presentar defectos de mala igualación en los vértices de las madejas en los que se apoyan sobre las varillas del portamaterial, o también por encima de estos vértices, que son más pobremente irrigadas y por consiguiente débiles a los enjuagues del aclarado.

En el presente trabajo de investigación, se hará mención solamente a los tipos de máquinas de teñido de hilados que se emplearon para efectos del estudio.

2.1.8 Autoclaves para el teñido de hilados.

Estas máquinas en el ámbito actual, son capaces de desarrollar procesos a altas temperaturas, hasta por encima de los 130°C, es decir todas ellas pueden teñir hilados de poliéster sin recurrir de modo regular al empleo de auxiliares que aumentan el agotamiento. Básicamente operan con el material estático en forma de bobinas, quesos, plegadores de hilo o jaulas para teñir paquetes grandes como las flocas de fibras, mientras que el baño circula en un circuito cerrado, atravesando los empaquetados debido a una presión estática suficiente para lograr una buena igualación, presión otorgada por una bomba, que opera a una presión superior a la de la presión de vapor del agua para evitar la cavitación con el baño de teñido.

La temperatura del sistema es modulada por sistemas de control y modificada con la intervención de un intercambiador de calor/frío indirecto, el circuito está además dotado de tanques auxiliares con funciones como la adición modulada de productos, para lo cual se sirven también de una bomba auxiliar que además de introducir los productos adicionados, mantienen la presión total en un rango de variación pequeño, otra de las funciones de los tanques auxiliares es la de absorber las variaciones volumétricas sufridas por el baño por los cambios de temperatura, además de preparar agua calentada a mayor temperatura que la del suministro, con el objetivo de ahorrar tiempo al proceso en los pasos de aclarado del teñido.

Las autoclaves de teñido de hilados, poseen también un sistema que permite el cambio de sentido del flujo de baño, de dentro/fuera a fuera/dentro, para ello los fabricantes de estas máquinas asocian este tema al empleo de la bomba elegida para la máquina. Esto es así porque, el proceso debe proceder sin el riesgo de producirse la cavitación de la bomba principal. Este fenómeno de la cavitación parte de la vaporización de la solución de baño con formación de burbujas en la que podría formarse una bolsa de vapor la cual se

reduce en las zonas en donde la presión es más elevada, esto causa pérdida de presión, lo cual como ya se indicó, resulta fatal sobre todo en los subprocesos más críticos del teñido, la pérdida de presión de trabajo de la bomba, hace que la solución no tenga la presión suficiente para atravesar el empaquetado textil produciéndose fenómenos de deficiencia en la circulación con las consecuencias ligadas a la mala igualación del teñido.

Entre los sistemas más empleados por los constructores de estas máquinas para producir el cambio de sentido, cuando la bomba elegida para el trabajo es del tipo centrífuga, está el empleo de la válvula de cuatro pasos, que es un dispositivo que desvía la tubería del flujo haciendo que el flujo inicialmente dirigido en una dirección tome otra ruta que para efectos finales es la ruta de retorno a la absorción de la bomba. Esto tiene por ventaja que no es necesaria la detención de la bomba, ya que esta continúa su rotación en el mismo sentido siempre y sin detenerse, pero como desventaja que se requiere de gran energía para realizar el cambio, tanto en la pérdida de presión en el momento del cambio como en el mecanismo que hace posible el desplazamiento de la válvula, que por lo general se hace por medio de palancas y pistones de gran potencia, activados por aire comprimido.

Por otro lado, en el caso de las bombas axiales de menor potencia, es más conveniente realizar el cambio de sentido, por cambio de sentido de giro del motor de la bomba, esto tiene la ventaja de ser más económico, ya que solo implica el cambio en la polaridad del motor, pero puede tener la desventaja de que el cambio es más prolongado y podría ser una desventaja en el objetivo de la igualación del teñido. Por lo general el primer sistema lo encontramos en las máquinas de teñido de una capacidad superior a los 20 Kg de partida mientras que el segundo sistema en las máquinas que tiñen por debajo de este peso.

El calentamiento y/o enfriamiento del baño, en este tipo de máquinas es una función que realizan los intercambiadores de calor/frío, que en general consisten de dispositivos de transmisión indirecta de calor por tuberías por las que discurre por dentro de las tuberías, vapor si se trata de calentar a alta presión de 80 a 120 lb/pulg². o agua fría a temperatura

ambiente y presión de suministro si se trata de enfriar. (Cegarra Sanchez, Fundamentos de la maquinaria de tintorería, 1990).

Estas tuberías externamente si están en contacto con el baño del circuito. Los intercambiadores pueden ubicarse en la forma de serpentines helicoidales dentro del recipiente de teñido, con la ventaja de minimizar las pérdidas de calor. Pero con la desventaja de que sus mantenimientos correctivos suelen ser muy costosos porque su remoción es de difícil accesibilidad. Otra presentación de los intercambiadores de calor/frío es la de un dispositivo integrado al circuito, pero ubicado fuera del recipiente que permite una intervención mucho menos penosa, pero que inevitablemente produce pérdidas de calor por su exposición externa.

2.1.8.1 Autoclaves de volumen fijo.

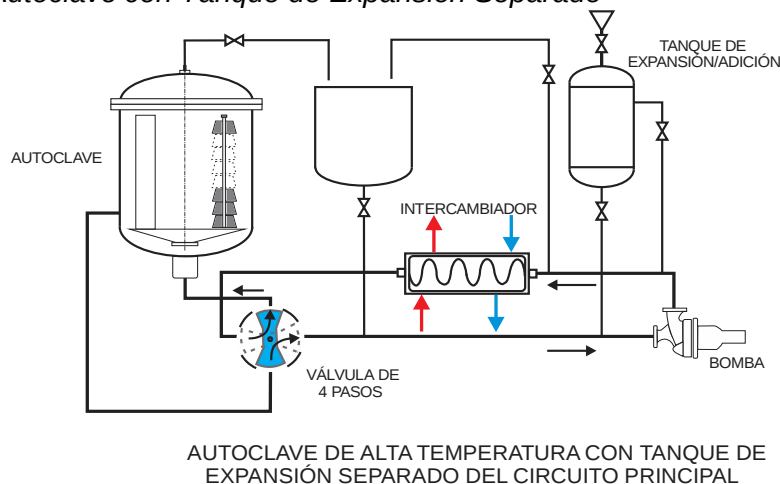
Las máquinas no atmosféricas (dejando de lado a las atmosféricas) de este tipo se caracterizan por operar a un volumen constante, y con el recipiente de teñido totalmente lleno. El baño retorna parcialmente al tanque de expansión por la tapa del recipiente y de ahí es devuelto al circuito por la bomba auxiliar. Esta disposición tiene la desventaja de ser poco versátil en la composición de las partidas de teñido, ya que operan con un peso prácticamente constante de partida. Esto desde un punto de vista productivo brinda muy poca versatilidad en la composición de la producción posterior del hilo teñido porque si se trata de requerirse de partidas de muy bajo peso, se podrían generar costosos excesos de material teñido. Si se pretende variar esta condición se debe de variar el peso del material, lo cual resulta en muchos casos inconveniente.

Por ejemplo, si se trata del teñido de bobinas, variar el peso de una bobina, implicaría una reconfiguración por el peso de la formación de estas en las coneras, para obtener una densidad y diámetro apropiados. O si se tratara de floca, el peso debe ser tal que logre el máximo apelmazado que evite la canalización del flujo del baño, que no es otra cosa que crear conductos dentro del empaquetado por donde la resistencia del flujo es menor y producirá fugas del baño con pobre irrigación colindante y la subsecuente mala

igualación, por lo tanto, variar el peso resulta inconcebible, a menos que se emplee boyas, que ocupen espacios dentro del recipiente.

Figura 9

Diagrama de Autoclave con Tanque de Expansión Separado

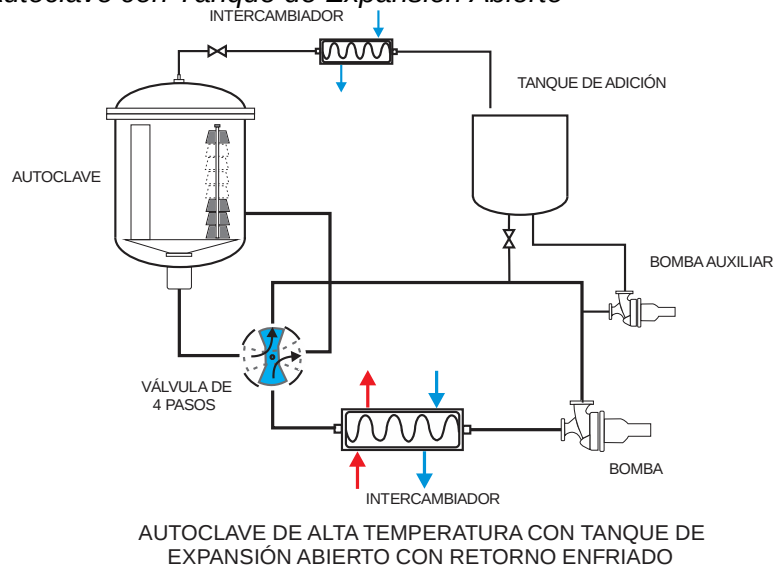


Nota: Adaptado de Cegarra Sanchez, Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles, 1980, p.193.

Sin embargo, una ventaja de estas máquinas, es que, trabajando siempre bajo las mismas condiciones, de volumen y relación de baño, logran altos niveles de confiabilidad en la repetitividad de partidas.

Figura 10

Diagrama de Autoclave con Tanque de Expansión Abierto



Nota: Se muestra el esquema de una autoclave con tanque de expansión abierto e intercambiador de frío en la salida del baño previo al tanque.

2.1.8.2 Autoclaves de volumen variable.

Estas máquinas, fueron desarrolladas para solucionar la necesidad de trabajar con partidas de distinto peso, usando el mismo peso unitario del paquete, solo variando el número de empaquetados, específicamente la altura de la columna de los empaquetados apilados. En estas máquinas no existe retorno del baño por la tapa hacia el tanque de adición, el retorno se produce por el circuito ubicado en el fondo del recipiente de teñido. Además, la presión total se completa presurizando el espacio existente entre la superficie del baño y la tapa del recipiente, inyectando aire comprimido, manteniendo de este modo la presión estática del baño. La versatilidad de estas máquinas les permite configurar partidas de un número múltiplo del número de empaquetados unitarios que conforman una cama llena del portamaterial, es decir por ejemplo si se trata de bobinas, en las que el número de bobinas que conforman una cama es de 46 bobinas, y una altura de apilado máximo de 8 bobinas, se podrán formar partidas de 46, 92, 138, 184, 230, 276, 322 y 368 bobinas.

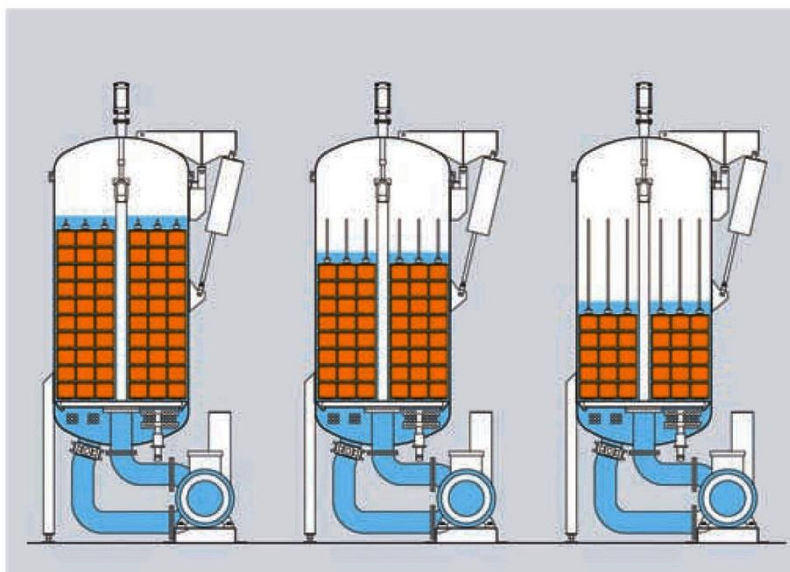
Estas máquinas, al operar con un cojín de aire, no requieren de tanque de expansión, es el cojín de aire el que absorbe las desviaciones volumétricas del baño por los cambios de temperatura, y por lo general en lugar de tanque de expansión, estas máquinas poseen tanque de preparación, en los que se prepara el baño siguiente al actual subproceso, para acortar el tiempo total de proceso, además de poder retornar el 100% del baño de teñido para cumplir con funciones de observación o muestreo del portamaterial ya sin baño que lo inunde. La presión estática se regula de modo automático, de acuerdo a la carga total requerida por la partida de peso variable, ingresando como información la diferencia de presión requerida. Las varillas o espadas, como serán capaces de contener alturas variables de empaquetados, presentan una zona roscada de mayor altura, para la sujeción del seguro.

En general, la mayoría de autoclaves modernas son capaces de teñir distintos formatos de empaquetados, solo variando el tipo de portamaterial, así para teñir hilados en

bobinas, o quesos, se utiliza un portamaterial con varillas o espadas, si se requiere teñir floca, se usa un portamaterial tipo jaula con paredes perforadas que permiten el paso del flujo, eventualmente, esta jaula puede teñir otro tipo de empaquetado grande, incluso madejas de hilo, o cintas, apisonadas, de acuerdo a la eficacia obtenida de modo experimental. O si se trata del teñido de plegadores, existen portamateriales diseñados para tal efecto.

Figura 11

Esquema de Autoclave con Volumen Variable



Nota: Adaptado de <http://www.lorisbellini.com/es/news/giornale-ingegnere/>, 2014.

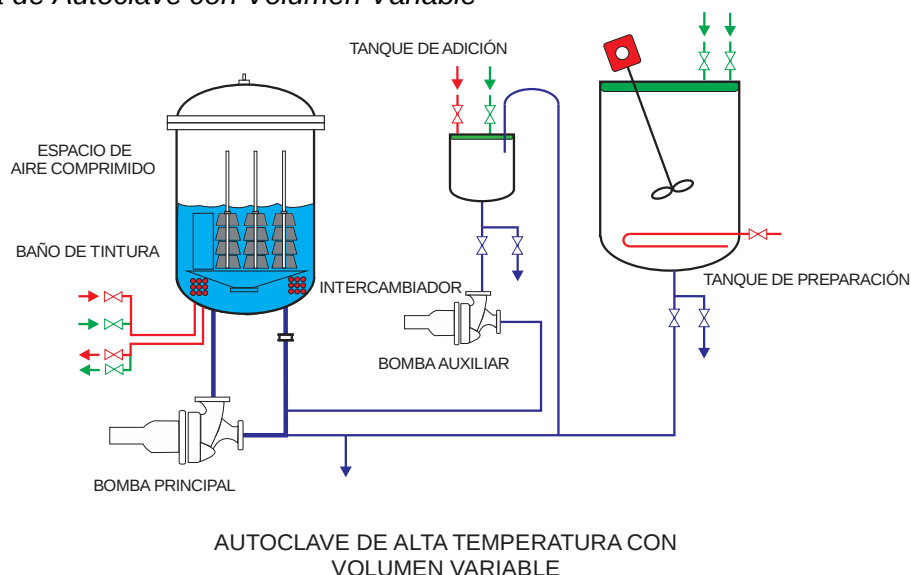
Una desventaja que suelen presentar este tipo de máquinas, es que, debido al empleo de un espacio relleno con aire comprimido, se suelen formar cantidades altas de espuma en la superficie del baño de teñido, con los problemas que la formación de espuma implica, como la formación de partículas de colorante hidrolizado suspendidas en la espuma que eventualmente podrían re-depositarse en la superficie de los empaquetados, produciendo manchas.

Debido además a la variación en la altura de las columnas de empaquetados, los volúmenes de cada altura distinta de columna, son también distintos, y para efectos de cálculo de la receta y oscilaciones de las relaciones de baño, se debe tener especial

cuidado en el desarrollo de las recetas que contemplen estas variaciones en las relaciones de baño.

Figura 12

Diagrama de Autoclave con Volumen Variable



Nota: Se muestra el esquema de una autoclave de volumen variable con tanque de reversión/preparación

2.1.9 Maquinaria para el teñido de hilo en madejas.

El teñido de hilos en el formato de madeja, es uno de los más antiguos, que el hombre ha usado para dar color a los textiles. Es conocido que el hilo teñido en madeja, logra un aspecto esponjoso y voluminoso, que no es posible en muchos casos, lograr con el teñido en bobinas, básicamente por la diferencia en las tensiones a las que los hilos en madejas y en bobinas son sometidos, en madejas la tensión es mínima, por ello durante el encogimiento propio del proceso húmedo sobre un textil crudo, el hilo teñido en madejas se encoje libremente sin desarrollar mayores tensiones, varía su longitud, pero mantiene su sección transversal, lo que no sucede con los hilos teñidos en bobinas, que normalmente sufren un estiramiento al producirse estas tensiones, esto es más sensible en materiales acrílicos, celulósicos y el poliéster. En el teñido de madejas por agotamiento, el material textil se mantiene estático, mientras que el flujo está en movimiento y atraviesa al textil. Aunque existen máquinas de teñir en madejas que otorgan un movimiento giratorio a las

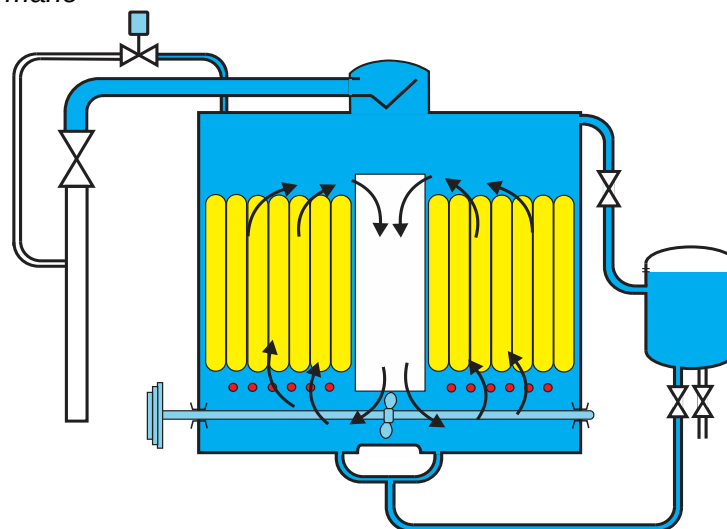
madejas, este es muy lento y poco frecuente en el tiempo, como para otorgar una ventaja en la cinética de la tintura, solo actúa para desubicar el vértice de la madeja sobre el que se apoya en las varillas o ejes perforados de las que cuelgan. Por ello se distinguen dos tipos de estas máquinas, aunque sus diferencias no sean realmente fundamentales.

2.1.9.1 Maquinaria para el teñido de hilo en madejas con el material estático.

Son aquellas máquinas en las que el material textil permanece estático acomodado sobre un par de varillas de acero, una superior y otra inferior y mantenido verticalmente paralelo, pero sin tensión, para absorber el encogimiento que se producirá durante el teñido, mientras que el baño circula a través de él, con el compartimiento de teñido totalmente inundado. Estas máquinas por lo general son atmosféricas o con presiones de trabajo solo un poco superiores a la atmosférica. El baño de teñido es agitado por una bomba de circulación, que opera con ciclos programables de cambios de sentido. Un ejemplo clásico de este tipo de maquinarias son las máquinas de tipo armario de forma paralelepípeda, en marcas como las italianas “Mezzera”, o “Cubotex”. Una desventaja de este tipo de máquinas es que operan regularmente en relaciones de baño altas, que van desde 1/15 hasta 1/40, con el costo mayor que ello implica, aunque tienen la ventaja de su simpleza, tanto en su operación como en su fabricación con mínima electrónica, y capaces de procesar grandes pesos de material.

Figura 13

Máquina Tipo Armario



ESQUEMA DE MÁQUINA TIPO ARMARIO

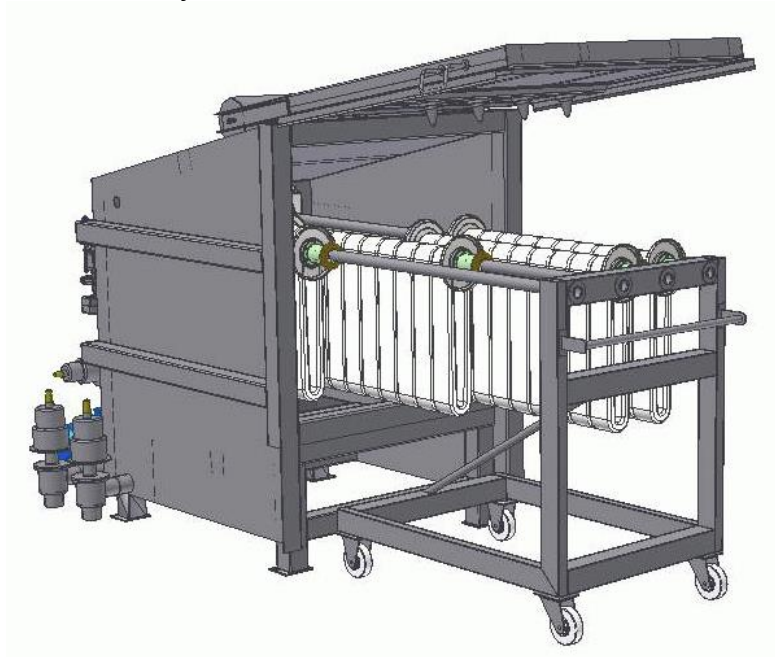
Nota: Adaptado de Cegarra Sanchez, Fundamentos de la maquinaria de tintorería, 1990, p.67.

2.1.9.2 Maquinaria para teñido en madejas con el material y el baño en movimiento.

En realidad en este tipo de máquinas el movimiento del material es giratorio y muy lento, y no obedece a la intención de agitación mecánica del teñido, sino a una desubicación de la madeja para una mejor irrigación, porque a diferencia de las máquinas tipo armario en las que la máquina teñía con volumen inundado, en estas máquinas, el baño es, bombeado a través de un eje perforado del cual cuelgan acomodadas las madejas, pero sin inundar el compartimiento de teñido, solo cubriendo el material textil con una delgada lamina del flujo que envuelve al material a modo de un pequeño rebose, mientras el baño es recogido en el fondo del recipiente y enviado nuevamente a la bomba, la misma que no requiere de gran potencia, por lo que suelen ser solo bombas del tipo hélice. Es por ello que estas máquinas operan a relaciones de baño relativamente cortas que pueden ir desde 1/8 hasta 1/20, con el ahorro que ello implica, aunque estas máquinas solo operan con producciones menores de peso de material. Un ejemplo de marca que produce este tipo de maquinaria es la también italiana “Loris Bellini”.

Figura 14

Máquina de Teñido en Madejas con Movimiento Giratorio



Nota: Adaptado de <http://www.lorisbellini.com/es/news/giornale-ingegnere/>, 2014.

2.1.10 Teñido por agotamiento de tejidos.

La mayoría de telas en color sólido, son teñidas luego de que la tela ha sido elaborada. Esto se hace como teñido en pieza por agotamiento, es el método más fácil y barato de aplicar color en comparación al teñido de tejidos a la continua. Los productores de telas teñidas las producen de acuerdo a sus requerimientos, sin necesidad de abastecerse de grandes stocks que pueden verse obsoletos ante los cambios en la moda. El teñido en pieza no siempre provee una penetración perfecta del colorante sobre la tela, pero para sus muchos usos es satisfactoria. Normalmente las piezas de tela teñida son de un solo color, pero en los casos de telas que lleven más de una fibra, es posible que las fibras presentes, no desarrollen la misma absorción lo que podría generar otro tono sobre la tela o también se pueden teñir con otro tipo de colorante aplicado a cada tipo de fibra presente, logrando la misma o diferente coloración.

A lo largo de la historia, las maquinarias para el teñido de tejidos en pieza han evolucionado de modo drástico, sobre todo en las telas de tejido de punto y tejido plano de

baja densidad. Desde las barcas de teñido en las que la relación de baño iba desde 1:30 a 1:40, hasta las Jet modernas que usan una Relación de baño de hasta 1:4, estas maquinarias evolucionaron, reduciendo dramáticamente la Relación de baño e incrementando paralelamente el intercambio tintóreo del baño con el material, mediante una mayor agitación mecánica, con el empleo de toberas que son cámaras llenadas con el baño de teñido y una porción de la tela en pieza atrapada en la fracción de tiempo, durante su circulación, que otorgan una mayor agitación del fluido con el material, y además una agitación de la tela en reposo que no interactúa con la tobera. Con parámetros críticos como la velocidad, la presión de la bomba y sobre todo el tiempo que toma cada ciclo de circulación de la cuerda sin fin de piezas de tela, estas máquinas logran una distribución homogénea aceptable, y satisfactoria para los requerimientos del producto final.

2.1.10.1 Maquinaria de jet de teñido.

Es así que el modo más empleado para teñir tejidos por agotamiento, es en el formato del torniquete, el cual se mantiene como formato de piezas de tela unidas a modo de una cuerda sin fin, trasladada mecánicamente y en contacto con la solución del baño de tintura. El principio no ha sufrido mayores innovaciones, pero si los dispositivos implicados. Siendo un proceso en el que el material textil permanece en la mayor parte del tiempo semi-estático, contenido en el fondo del recipiente que contiene la tela, además de poseer de dispositivos para calentamiento más rápido, llenados y vaciados más mecanizados, además de instrumentos de control y la conservación del calor mediante máquinas cerradas que desarrollan altas temperaturas, los aspectos más sobresalientes de la evolución se dan en el aumento de la velocidad de desplazamiento de la cuerda y su intercambio con el baño, lo cual se logró con la aparición de las toberas, que son cámaras, dentro de las cuales se aloja por una fracción de tiempo una porción de la cuerda, rodeada por la solución del baño, la cual esta presurizada por una bomba y que arrastra en una dirección y sentido a la tela otorgándole la mayor parte de la energía cinética que requiere para su desplazamiento. (Costa, 2010).

En el presente trabajo de investigación, se hará mención solamente a los tipos de máquinas de teñido de tela que se emplearon para efectos del estudio.

Maquinaria de jet de movimiento transversal.

Este tipo de máquinas jet, patentado por la firma constructora italiana Brazzoli, bajo la marca “Innodye”, introduce el concepto de movimiento transversal del tejido considerado en reposo en la zona de almacenamiento, el movimiento dinámico del baño de tratamiento se obtiene con una canastilla móvil, con movimiento alterno transversal a la dirección del avance del tejido, lo cual en teoría de los diseñadores, favorece una homogenización del baño de teñido, además de favorecer la difusión de los colorantes sobre el textil. Estas mejoras en el proceso cinético del teñido se resumen en tres aspectos.

- La uniformidad del baño de tratamiento en cada espacio interno de la máquina.
- La perfecta repetitividad del tratamiento.
- La reducción de la formación de espuma.

El movimiento transversal de la canastilla móvil permite también obtener beneficios adicionales tales como: Una distribución más homogénea y racional del tejido dentro de la máquina, una inmersión más completa del tejido en el baño de tratamiento, lo que permite una mayor interacción entre el baño y el tejido, beneficiando la relajación de su estructura textil, y haciendo posible el tratamiento de fibras sensibles y delicadas sin ningún problema. Una alta eficiencia de lavado con una reducción de una de sus fases. Ofrece también la posibilidad de realizar tratamiento de tejidos de diámetro pequeño (tamaño de cuerpo), trabajando con el movimiento transversal acelera en el caso de doble cuerda y posibilidad de realizar tratamientos a lo ancho. El dispositivo transversal colocado a un lado de la máquina permite el movimiento de la canastilla con la posibilidad de cambiar de velocidad por medio de un sistema automático de regulación sincronizado con el

torniquete de accionamiento del tejido. La optimización de la entrega del baño de tratamiento es facilitada por varios nuevos dispositivos:

El turbovario, es un dispositivo de impulsión con sección cónica variable y que es regulado automáticamente por medio de un microprocesador, permitiendo un intercambio intensivo entre el baño de colorante y el tejido tratado. El área de varias secciones, desarrollada longitudinalmente, y que permite reducciones extremas de las relaciones de baño además de proveer una aspiración más homogénea en toda la superficie del mismo baño. (Borneman, J.; Mock, Gary, 2003)

Esta generación de máquinas de la firma Brazzoli, tuvo un éxito relativo en el parque de maquinarias textiles de nuestro país, el incremento en el movimiento del tejido otorgado por la canastilla, permitió reducir en un 15 a 20% los tiempos de proceso, en el teñido de materiales celulósicos con colorantes reactivos tanto por los tiempos de igualación previos a la adición de álcali como en los tiempos de las adiciones. Si bien existe un incremento en la energía requerida para otorgar mayor energía cinética al proceso el incremento en la productividad resulta ventajoso. Además, la canastilla ofrece la ventaja de que, debido a su movimiento, acumula una mayor cantidad de tela en la zona de almacenamiento, haciendo más productiva la máquina con respecto a otras de tamaño similar, y este mismo movimiento ayuda a eliminar el exceso de espuma que es perjudicial en todos los procesos. La reducción de tiempos va asociada también a una mayor productividad y reducción en la relación de baño global, que en este caso no implica un mayor rozamiento de la tela con las paredes, lo que normalmente redundaría en mayor fricción y producción de pilling, ya que la acumulación de tela los teñidos con reactivos la reacción entre el colorante y el material.

Maquinaria de jet de cuerda única.

Estas máquinas aparecieron como la marca "Multiflow", producidas por la constructora italiana MCS en sociedad con la también italiana Lamperti, en la que se

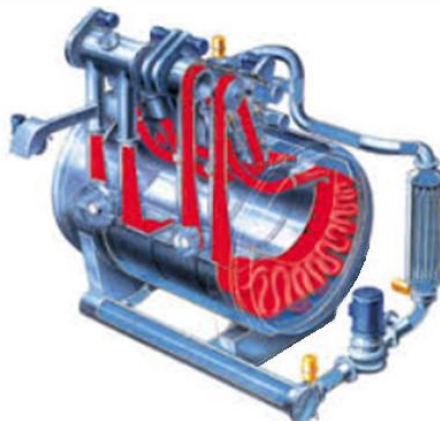
introduce el concepto de “cuerda única”, que consiste en que en esta máquina, aunque sea un modelo que tenga una capacidad alta de carga de tela o un modelo para teñir poca capacidad, siempre lo hace con una sola cuerda, que puede ser muy larga, en el caso de las de gran capacidad o más corta en el caso de las de poca capacidad, pero que internamente, en la autoclave de la máquina tiene un circuito que hace que esta cuerda única recorra todo el interior de la máquina con un entrecruzamiento espacial del recorrido, que en conclusión hace un recorrido de desplazamiento de espiral, en el que ingresa por una ventana y puede ser manipulada por otra, con dos toberas trabajando con una sola cuerda, y con sus cilindros de arrastre de movimientos independientes debido a sus propios sensores, pero de modo coordinado y cuyas velocidades varían a lo largo del proceso. La diferencia radica no solo en usar una sola cuerda de teñido, que de por sí, anuncia una ventaja sobre las jets tradicionales de una cuerda por cada ventana, en lograr una mejor igualación tratándose de una sola cuerda con un único tratamiento durante todo el proceso de teñido en una relación de velocidad/tiempo, sino también en que ofrece una gran versatilidad en cuanto al peso de la carga con un rango mayor, que autorregula la velocidad, la cual puede ser muy alta en el caso de pesos altos o menor en el caso de pesos bajos, pero que de cualquier modo acorta considerablemente los tiempos de los procesos globales haciendo de esta, una máquina muy productiva, esto es así también porque sus adiciones, u otros subprocesos se comportan como en los de las máquinas de laboratorio que son esencialmente más cortos que los de la planta, eliminando tiempos muertos. (Cagnazzi & Ferrari, 2002)

En el Perú, estas máquinas han tenido un éxito relativo en ventas, en virtud de su mayor ventaja que es su mayor productividad por menores tiempos de proceso. Otros aspectos importantes destacables son su sistema de acceso a la máquina por medio de una amplia puerta de maniobra rápida en el canal de servicio, para carga y descarga de la tela, muestreo o solo intervención, y sus dos depósitos de añadido de productos, uno de los cuales está provisto de disolución de la sal con fresa hidráulica, descarga forzada de

baño y una de sus características sobresalientes su elevada flexibilidad de carga paralela con la relación de baño.

Figura 15

Esquema de una Jet de Cuerda Única



JET DE CUERDA UNICA MULTIFLOW MCS

Nota: Adaptado de <http://ptj.com.pk/files> Pakistan Textile, 2003.

2.2 Marco conceptual.

La generación de fallas en la reproducibilidad y repetitividad de los lotes, en un entorno en los que ya se descartaron aspectos referidos a, diferencias en los lotes de material, sea este algodón, como por variedades o por lotes de producción de hilandería, o diferencias en los insumos, se deben comúnmente a un manejo inapropiado de la información específica del proceso, y esto es así por diversos motivos.

El personal técnico que desarrolla el control del proceso, frecuentemente, descarta el empleo de datos precisos, o se apoya en información, en muchos casos genérica de los productores de la maquinaria, y es así que emplean volúmenes irreales, el control del electrolito suele ser en muchos casos deficiente y mal calculado porque se genera a partir de un volumen irreal. Otra de las razones, se da en las diferencias que se presentan entre los procesos del laboratorio y los de planta, incluso, existen manuales de colorantes, en los que los productores de colorantes recomiendan el empleo de curvas de laboratorio, más cortas y obviamente distintas a las de planta que agravan en parte los resultados de la Reproducibilidad.

El rendimiento tintóreo de los colorantes es un factor, ligado a la reproducibilidad porque un rendimiento alto, da menor espacio de acción a diferencias en los tonos, mientras más diverso sea el rendimiento, mayor será la variedad de tonalidades obtenidas y peor será la reproducibilidad.

Una buena reproducibilidad, es en general más difícil de lograr que una buena repetitividad, porque sus razones son algo mayores que las de una buena repetitividad. La principal diferencia, tiene que ver con el desempeño del laboratorio, y otros como la nobleza de los colorantes reactivos, y que obedece a su naturaleza química y comportamiento tintóreo. Y aunque este factor puede tener una implicancia importante, en general, las razones de los malos resultados de la reproducibilidad y repetitividad en las tintorerías estudiadas, tienen una muy fuerte participación en factores que no tienen que ver con los colorantes y cuya solución es prioritaria, y más económica. Prioritaria porque de llevarse a cabo un cambio de colorantes, estos se enfrentarán a los mismos problemas de fondo que se enfrentaron los colorantes anteriores, que disminuirán su supuesta mejoría que es la razón del cambio, además, en general, un cambio de colorantes a otros más modernos de supuesto mejor rendimiento, siempre implicará un cambio dramático, en los costos de la receta, ya que el precio de los colorantes es el ítem de mayor peso en el costo de la receta.

Mientras que la solución al tema, que no pasa por un cambio de colorantes tiene un costo mucho menor, que podría implicar solo la incorporación de una computadora, de requisitos muy básicos, y el empleo de un trabajo de investigación del propio personal técnico de la tintorería, hasta el costo de mediciones volumétricas a cargo de empresas certificadas en el rubro.

El teñido de materiales celulósicos, con colorantes reactivos es un proceso que involucra una serie de factores que van desde la apropiada preparación del sustrato hasta un control preciso de parámetros como la concentración del electrolito, pHs iniciales y con mayor relevancia los pHs finales, la temperatura del proceso, y las cantidades precisas de productos químicos, auxiliares y colorantes. Al hablar de cantidades correctas de insumos,

implícitamente surge el concepto fundamental de la Relación de baño, que es la proporción en el proceso mismo entre la cantidad de baño de teñido y el peso del material textil. Esta proporción que se desarrolla en el laboratorio sobre una muestra de teñido de laboratorio, pensada en que se reproducirá como proporción en la máquina de teñido de planta es un factor que es muy fácil de calcular y lograr en los ensayos de laboratorio, sin embargo, en muchas tintorerías es mal calculado, o ignorado en planta incluso en aquellas cuya tecnología permite una excelente aproximación. Y a partir de aquí se producen fatales distorsiones que crean barreras a una buena Reproducibilidad y Repetitividad.

Sin embargo, esta es solo una de las razones, otra que se puede mencionar está referida a la secuencia Tiempo-Temperatura conocida como Curva de teñido, la misma que es definida dependiendo del tipo químico del colorante empleado, pero por diferencias en la tecnología de las máquinas de laboratorio con respecto a las de planta, mal interpretados ahorros de tiempo en dosificaciones, etc. se suelen establecer diferencias entre las curvas, tanto en la secuencia de las adiciones, el universo de productos usados tanto en laboratorio como en planta (en laboratorio se suelen usar menos productos que en planta), incluso diferencias en la temperatura, y tiempos en general.

En la práctica no es posible copiar la totalidad de funciones que conforman las curvas tanto del laboratorio como de la planta, por ejemplo, las adiciones de álcali en la planta suceden en general por ADICIONES PROGRESIVAS, que es la incorporación del álcali en cantidades muy pequeñas en frecuencias cortas de tiempo a lo largo del tiempo definido para dicha adición y estas cantidades de álcali se van incrementando obedeciendo a una lógica matemática. Una adición progresiva es muy complicada e impráctica de aplicar en una curva de laboratorio, en la que, en común, se procesan decenas de muestras en simultáneo, y aquí se aplican simplemente adiciones puntuales. En todo caso lo que se recomienda hacer, es imitar el resultado, por ejemplo, aproximando la adición progresiva con dos o más adiciones puntuales, y con cantidades variables, menos al inicio y más al final como sucede así en una adición progresiva.

Con respecto a los colorantes, estos en muchos casos tienden a comportarse de modo distinto si son teñidos con curvas distintas. Y en la práctica no sucede esto por tricromías únicamente, sino como comportamiento individual de cada colorante dentro de una tricromía, esto se debe a la naturaleza química del colorante, su anclaje molecular, Vinilsulfónico, MCT, Pirimidínico, etc. o con combinaciones de ellos o el número de anclajes dentro de la molécula, determinan un característico comportamiento frente a variaciones o alteraciones en los valores nominales de concentración de electrolito, RB, concentración del álcali, propiedades del agua como dureza, o presencia de bicarbonatos. Todas estas características determinan un grado de nobleza de los colorantes, los mismos que de acuerdo a ensayos podrán ser evaluados para determinar bajo ciertos criterios si son convenientes de continuar usándose o plantear bajo estricto análisis su reemplazo por otros de mejor performance.

Otro factor importante, es la concentración del electrolito, cloruro de sodio o sulfato de sodio. El cual está relacionado con la cantidad de colorante que se deposita sobre la superficie del textil, previo a la penetración y reacción con este. Tomando un importante papel en el rendimiento tintóreo del colorante, el cual, para favorecer a una buena reproducibilidad y repetitividad, debe ser maximizado. La concentración del electrolito debe por lo tanto asegurar un rendimiento máximo del colorante, sin superar el rendimiento logrado por la corrida de laboratorio, ni ser inferior desde luego a éste. Y para obtener una concentración precisa, los valores de los volúmenes considerados en las máquinas de planta ameritan una exhaustiva precisión.

Uno de los parámetros que frecuentemente cae en errores es el Volumen real de las máquinas, debido a que es muy usual partir de la información proporcionada por el fabricante de la maquinaria de teñido, y este valor que brindan los fabricantes de maquinarias puede ser muy genérico, y no estar relacionado con el tipo, o naturaleza del material textil que se usa en el teñido en la planta. Cada planta por la naturaleza del material textil o sustrato que emplea puede tener una realidad muy particular. Por ejemplo en el

teñido en autoclaves, el formato del sustrato, puede presentar diversas variedades como bobinas, cintas, flocas, quesos de filamentos preconcebidos para teñirse directamente, etc. y que en cada caso puede alcanzar valores muy diferentes de volúmenes, justamente por el volumen distinto que desplaza cada paquete, y que aunque se tiñan con el mismo nivel de altura final de baño de teñido, en estricto, pueden teñirse a condiciones muy distintas a las que se presupone, y por otro lado, existen maquinarias que no cuentan con un sistema confiable de cuenta litros,

Otro caso tomado como ejemplo, es el de los tejidos teñidos en cuerda. Luego del proceso inicial del previo de teñido, y dependiendo del tipo de género, este puede retener cantidades muy variables de agua, lo que se conoce como ABSORCION del tejido en húmedo. Así una popelina con una absorción de 2 implica que 100 kg de este material absorberán 200 l de agua, mientras que un rib flat back 20/2 Ne apg con una absorción de 3.5 implica que 100 kg de este material absorberán 350 l de agua. Este parámetro de absorción es un valor importante y que se debe considerar para efectos de los cálculos en los volúmenes, que forman parte del cálculo final de la relación de baño.

Se debe analizar de modo muy detallado, la secuencia exacta del proceso, que elementos se agregan y cuanto aportan en el volumen total del teñido, evitando presumir de modo erróneo, que el aporte de cierta adición al volumen total es despreciable, es por ello necesario el empleo de un ordenador, el cual con la información y órdenes precisas se encargue de un cálculo meticuloso y detallado de todos los parámetros que conforman el total del volumen , que define la relación de baño real empleada y que debe seguir de modo riguroso a la empleada por el laboratorio.

Tabla 2

Absorción de Humedad en Géneros de Punto y Planos

Título	Artículo	Abs. Crudo
30/1	Popelina apg	2.0
20/1	Tela plana canvas	2.0
50/2	Jersey sólido mercerizado apg	2.3
60/2	Jersey minijacquard apg	2.3

30/1	Popelina atp	2.4
60/2	Jersey sólido efecto listado apg	2.4
60/2	Jersey fulljacquard cuadr/relie apg	2.8
26/1	Pique app	3.0
40/1	Jersey sólido 2 cabos aps	3.0
40/1	Rib 1x1 con spandex aps	3.0
60/2	Jersey polycotton app	2.5
50/2	Cuellos app	2.6
20/1	Jersey sólido atp	2.6
20/1	Piqué sólido atc	2.6
20/1	Pique sólido prenda lav. directa atc 20/1	2.6
20/1	Cuellos sólidos atc	2.6
30/1	Rib 1x1 s/spandex prep.pig. aps	2.6
20/1	Pique solido prenda lavada	2.6
60/2	Jersey no mercerizado app	2.7
60/2	Pique antiestático apg	2.7
30/1	Waffle apg	2.8
30/1	Rib atc	2.8
60/2	Jersey fulljacquard cuadros/relieve apg	2.8
60/2	Waffle sólido apg	2.8
70/2	Jersey fulljacquard rombos apg	2.8
40/1	Cuellos apg	3.0
16/1	Jersey sólido reactivo	3.0
30/1	Jersey sólido no mercerizado	3.0
20/2	Rib flat back apg	3.5
24/1	Interlock app	3.5
24/1	Interlock atc	3.5
30/1	Interlock atc	3.5

Nota: Adaptación de Textil San Cristóbal (2008).

La tecnología de las máquinas de teñir en cuerda permite una aproximación algo más sencilla a la relación de baño desarrollada por el laboratorio, es decir las máquinas de teñir tela en cuerda, “siguen” a la relación de baño del laboratorio, pero si la tecnología no lo permite, como en el caso genérico del teñido de paquetes en autoclave, o madejas en aparato, la relación de baño que utilice el laboratorio, deberá adaptarse a la que utilice la planta. Esto es así porque, los volúmenes en las autoclaves o aparatos tienen un muy restringido rango de valores, unido al hecho de que los pesos de las partidas, también están restringidos a valores estandarizados a múltiplos de la unidad básica de teñido, en

el caso del teñido en bobinas, el peso de una bobina, la cual siempre se procura mantener en un peso estandarizado con muy poca desviación.

En general, las restricciones técnicas de las máquinas, en cuanto a su relación de baño por ejemplo, son parámetros que muy pocos técnicos consideran de modo riguroso, las diferencias reales con el teñido en planta es una de las razones poderosas que derivan en mala reproducibilidad, por lo tanto también es necesario que la relación de baño que utiliza el laboratorio esté muy ligada a la que se usará en planta, entonces aquí también para asegurar un cálculo meticuloso y preciso, el laboratorio también debe calcular la relación de baño y con más énfasis la factibilidad de la receta ligada a las restricciones de las máquinas con la ayuda de un ordenador, con un software como una hoja de cálculo, cargada con la información precisa de los procesos, volúmenes, adiciones, etc.

Este control del proceso, abarca el espacio de la tintorería enmarcado en el uso de los colorantes reactivos, que el día de hoy es el más empleado por las tintorerías de algodón del Perú, sin que ello implique que sus reglas y conclusiones sean aplicables a procesos con otros colorantes de diferente química, aunque si en gran parte de ello.

Este control del proceso se basa en el empleo de principios químicos y físicos, así como modelos matemáticos de ejecución por ordenador, que facilitan la obtención de los diversos parámetros de teñido que nos ayuden en el objetivo de lograr una Reproducibilidad y Repetitividad que disminuyan a un valor mínimo los indicadores de reprocesos de lotes por tono con el consiguiente ahorro en esfuerzo, tiempo y dinero.

Como conclusión a este preámbulo, se resume la estrategia de lograr una buena reproducibilidad y repetitividad a una función dependiente de 5 variables:

- Concentración de electrolito
- Relación de baño correcta
- Curvas de laboratorio y planta equivalentes
- Nobleza de los colorantes
- Óptimo pH de fijación

Y en ese orden, tal como lo sugiere la figura 16:

Figura 16

Variables de una Buena Reproducibilidad y Repetitividad

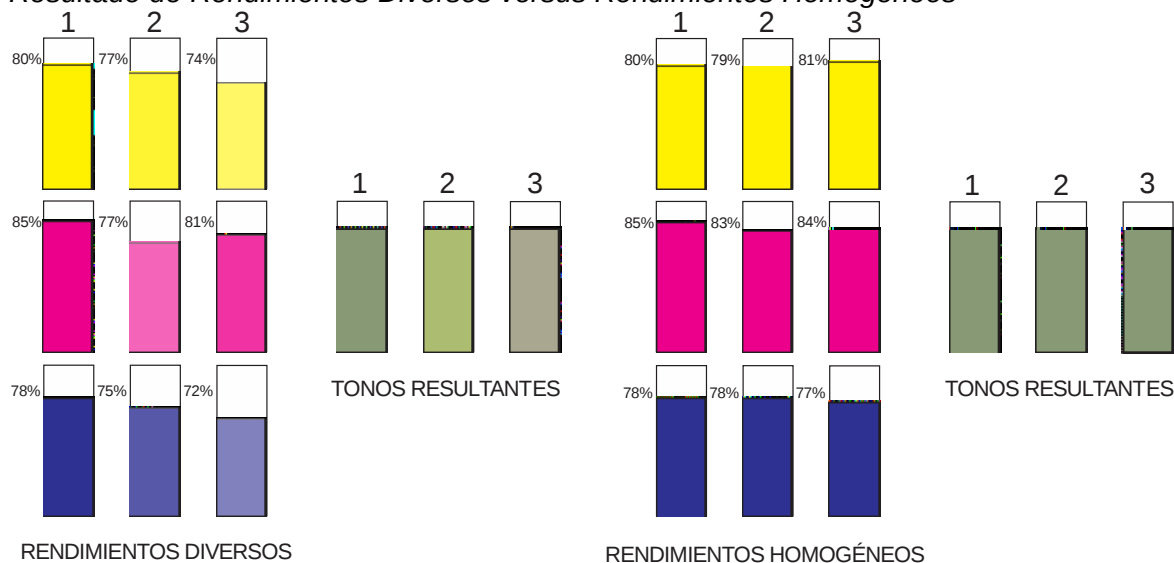


Nota: La figura16 representa a las variables más críticas que conforman la solución al problema de la reproducibilidad y repetitividad

Una reproducibilidad y repetitividad óptimas, están sin duda ligadas a un rendimiento alto de los colorantes, el cual debe ser alcanzado tanto en laboratorio como en la planta, y casi todas estas variables están ligadas al rendimiento de los colorantes. Un rendimiento alto, el cual deja muy poco colorante sin reaccionar, disminuye la probabilidad de creación de “rendimientos diversos”, es decir se logra que casi la totalidad técnica del colorante tiña el material evitando generar tonos individuales de cada colorante distintos, los mismos que combinados con otros “rendimientos diversos” de los demás colorantes, fomentan la producción de tonos grupales finales distintos, que representan en sí, la mala reproducibilidad y repetitividad. Esta idea es ilustrada en la figura 17:

Figura 17

Resultado de Rendimientos Diversos versus Rendimientos Homogéneos



Nota: Representación de como los rendimientos individuales parciales diversos de los colorantes, generan tonos finales distintos en cambio rendimientos altos y más homogéneos producen tonos semejantes

Por ello, la primera variable es la concentración del electrolito, sal o sulfato de sodio, que tiene una fuerte relación con el rendimiento individual de los colorantes reactivos. La segunda variable es el empleo de una correcta relación de baño, que está en parte ligada a la primera, y no solo con la concentración del electrolito, sino de todos los demás componentes de la receta, y sobre todo al comportamiento cinético de los colorantes, el cual varía de acuerdo a la naturaleza química de los diversos grupos reactivos. La tercera variable está referida a que las condiciones de teñido que emplee el laboratorio deben ser minuciosamente equivalentes a las que emplee la planta, y no al revés, y este es un factor crítico en el rendimiento homogéneo grupal de los colorantes, aunque no necesariamente individual. La cuarta variable, está ligada al rendimiento, en tanto que los diversos grupos reactivos de los colorantes tienen un mayor o menor rendimiento tanto por su cinética, reactividad, etc. como por el número de ellos presentes en la molécula del colorante, sin embargo no es prioritario el empleo de colorantes de alto rendimiento, sin completar la evaluación de los colorantes de empleo frecuente, como los bifuncionales, determinando su nobleza por pruebas de su comportamiento frente a variaciones de las condiciones de teñido, las cuales serán detalladas más adelante. Finalmente, la quinta variable el pH de

fijación, presente en la reacción química que da origen al enlace covalente del colorante reactivo, tiene una fuerte proporción con el rendimiento individual del colorante, ya que solo si este es lo suficientemente alto, se alcanzará el rendimiento óptimo del colorante.

2.2.1 Balance de materia con respecto al electrolito usado en el proceso.

La presencia de electrolito, juega un papel fundamental en el teñido de materiales celulósicos con colorantes reactivos, entre las funciones que desempeña el electrolito, ya sea este Cloruro de Sodio, o Sulfato de Sodio, se mencionan: neutraliza la carga eléctrica negativa de la celulosa, adquirida al ser humectada y luego del proceso del previo antes de la tintura. “Aumenta la concentración de iones en la solución, reduciendo el gradiente de concentración de los iones Sodio positivos, entre la capa superficial de la fibra y la solución exterior, disminuyendo el trabajo de llevar los cationes sodio a la fibra”. (Cegarra Sanchez, Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles, 1980)

Aunque un exceso exagerado de electrolito también puede disminuir la difusión del colorante debido a que forma complejos o micelas como con colorantes como los Turquesas reactivos o algunas gamas de colorantes reactivos concentrados, los excesos de electrolito alteran la solubilidad de estos colorantes, disminuyéndolas, produciendo un menor rendimiento general del colorante.

Por todo ello, el control fino, de este parámetro es crucial dentro de los controles del proceso de teñido. En general para mantener un proceso con una buena Reproducibilidad y Repetitividad, la cantidad de electrolito del proceso debe ser tal que logre un equilibrio fundamental entre un agotamiento suficiente que resulte rentable con el rendimiento de los colorantes, y que no transgreda con los límites, que en general son netamente empíricos, en los que un exceso exagerado puede causar problemas de mala igualación, como en el caso del teñido con turquesas reactivos, en los que éste exceso de electrolitos produce la formación de micelas, que precipitan y generan manchas muy difíciles de superar, o la dificultad en disminuir el electrolito remanente luego de concluida la fijación, que dificulta la eliminación del colorante hidrolizado con los jabonados.

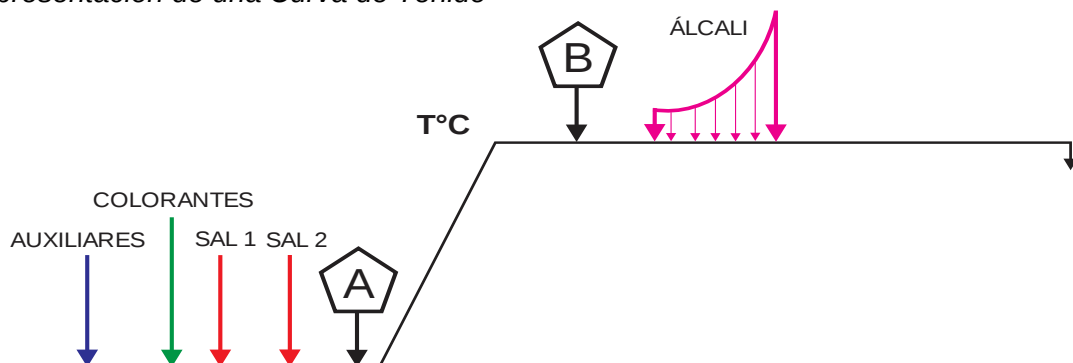
Con la meta de lograr una buena reproducibilidad de los colores que desarrolla el laboratorio con la categoría de colores nuevos, la cantidad de electrolito que debe usar la planta debe ser siempre igual o levemente mayor a la que usó el laboratorio, mayor lógicamente dentro de los límites empíricos explicados anteriormente, además de no producir un rendimiento exagerado frente al patrón logrado por el laboratorio. Y esto es así porque el incremento en la profundidad que pudiera producirse como resultado de este exceso del electrolito en la planta, resulta inofensivo y hasta en muchos casos beneficioso frente a los procesos posteriores de acabados, que una posible menor profundidad del tono con respecto al patrón de laboratorio, que sí tendría más posibilidades de llevar a un matizado o reproceso por defecto de menor profundidad en el tono, que es indeseable en nuestros objetivos.

Por ello se desarrolla un modelo matemático que ayude en el control de este crítico parámetro de control. Para ello se parte de una curva de teñido muy genérica, pero de validez universal. ("Balance de materia en dos puntos del proceso" (Himmelblau, 1996))

Sea pues una curva de teñido **C**, en la que se contemplan los subprocessos más importantes de un teñido por agotamiento con colorantes reactivos sobre materiales celulósicos.

Figura 18

Representación de una Curva de Teñido



Nota: En los puntos A y B, se presentan las mismas cantidades de electrolito

En donde se aprecia los puntos **A**, en el cual se concluyó con la adición de electrolito, para la curva ejemplo este punto está ubicado a una temperatura menor que la de teñido, pero esto es válido para cualquier temperatura, incluyendo la de teñido siempre y cuando **A** esté ubicado antes de adición del álcali. Y el punto **B**, el cual está ubicado antes de la adición del álcali. En esta curva, el electrolito o sal como lo utiliza el ejemplo, se agrega en dos partes, pero esto es válido para cualquier número de adiciones de electrolito, lo importante es que es el punto en el que la adición de electrolito ya concluyó.

Es a partir de estos dos puntos de la curva de teñido, en los que se realizará el análisis de balance de materia con respecto al electrolito. Así:

$$\text{MASA DEL ELECTROLITO EN EL PUNTO } \boxed{\text{A}} = \text{MASA DEL ELECTROLITO EN EL PUNTO } \boxed{\text{B}} \quad (1)$$

Que es la ecuación que interpreta que la masa del electrolito no ha sufrido incrementos, por otro lado, se produjo un incremento pequeño en el volumen del sistema por la dilatación volumétrica del baño, pero se proyecta que el volumen en el punto B, será incrementado por el aporte que hará el volumen de la adición del álcali, por lo tanto para efectos prácticos se considera que el volumen, en el punto B, será completado con el volumen del álcali (en la práctica, la medición de la concentración de la sal por medición de la densidad, se efectúa antes de la adición del álcali siempre, debido a que si se hiciera posteriormente a la adición del álcali, la densidad no se podrá medir de modo certero por medio de la flotabilidad que emplea como fundamento el densímetro, ya que el álcali produce una alteración de la tensión superficial del baño).

Es decir, la concentración del electrolito sufrió una disminución, definida por la siguiente expresión.

$$(C1)*(V1)_{\boxed{\text{A}}} = (C2)*(V2)_{\boxed{\text{B}}} \quad (2)$$

En donde C1, es la concentración del electrolito en el punto A, es decir la concentración luego de culminar la adición del electrolito, V1 es el volumen del sistema en

el punto A, C2 es la concentración del electrolito en el punto B, lo cual se interpreta como la concentración nominal del electrolito es decir la que utilizó el laboratorio en la receta en el desarrollo del color, o la misma que se utilizó en la receta de la partida anterior del mismo color, si se trata de un color repetido, esta es la concentración de electrolito que será el objetivo. Por otro lado, V2, es el volumen final, luego de la adición del álcali, y asumiendo que ya no se producirán más adiciones, es el volumen final del proceso de teñido y el volumen objetivo que otorga el parámetro de la relación de baño. El valor de V2 es el equivalente al volumen V1, más los incrementales producidos por la adición del álcali, posibles enjuagues del bidón o tanque encargado de la función de adición del álcali, o líneas de conducción en el caso de envíos de productos por una cocina automática (definiendo cuidadosamente que volúmenes intervienen como parte de la adición) y un incremental que en la mayoría de casos podría resultar despreciable pero que se considera en las ecuaciones de la aplicación, el referido a la dilatación volumétrica que experimentará el baño en el punto B. En nuestro ejemplo de la curva C, el sistema se eleva de un inicio en frío a una temperatura T°.

$$V2 = V1 + V_{\text{Álcali}} + V_{\text{Enjuagues}} + V_{\text{Dilatación Volumétrica}} \quad (3)$$

Análisis de cada variable de la ecuación anterior.

- El valor de V1, es el volumen del sistema luego de la adición del electrolito, pero su determinación no es tan sencilla, hasta este punto A, el sistema fue aportado por un Volumen de inicio, un Volumen de agua que es aportada por el material Húmedo, el cual ya está preparado y con previo para ser teñido, y considerando que de modo regular sucede como un proceso continuo desde que el material se cargó crudo y seco a la máquina de teñido, en general este volumen se denomina volumen de absorción, VABSORCIÓN, y en el caso del teñido de tela en cuerda es particularmente importante, además, volúmenes que se introdujeron con la adición de los auxiliares y los respectivos enjuagues técnicos. En el caso de cocinas automáticas si bien es cierto técnicamente es más sencillo determinar el valor de

los volúmenes parciales y que en este caso son más constantes ya se puede avizorar que en el caso de los procesos con máquinas de adiciones manuales o semimanuales, es imprescindible trabajar de modo ordenado y estandarizado. En el caso de las máquinas que permiten lecturas en tiempo real de sus volúmenes, representan una gran ayuda, pero por ahora se debe considerar a V1 como una variable cuyo valor será configurable teniendo como objetivo una concentración de electrolito que se aproxime a la nominal y como otro objetivo la Relación de baño que se aproxime a la nominal, aunque es importante señalar que, la definición de la relación de baño no puede ser asumida por el laboratorio sin estar estrechamente ligada a los parámetros técnicos y restricciones de la maquinaria de tintura para la que será destinada la partida.

- El valor de VÁLCALI, es un parámetro técnico propio de la máquina, el cual debe ser establecido y estandarizado de modo preciso, en los casos de las máquinas de adición manual la estandarización es imprescindible. Si las adiciones de álcali proceden en varias etapas, el valor es la sumatoria de todas ellas.
- El valor de VENJUAGUES, es también un parámetro técnico de la máquina, o del sistema de envío de la cocina automático si fuera el caso. Se debe determinar y separar de modo riguroso cuales son los enjuagues que formarán parte del sistema, de los que no formarán parte del sistema. (Enjuagues técnicos de los equipos con volúmenes que son desechados). En el caso de máquinas de volúmenes superiores a los 2000 l estos valores tienen una participación porcentual mínima, pero del mismo modo no serán considerados despreciables, ya que en máquinas de volúmenes menores a 500 l su participación es importante. El valor de VDILATACION VOLUMETRICA, está referido al incremental del baño que es mayoritariamente agua y es aproximadamente:

$$V_{Dilatación Volumétrica} = V_0 * \gamma * \Delta T \quad (4)$$

En donde V_0 es el volumen antes del cambio de temperatura, para este caso y sin mayores distorsiones el valor de V_0 viene dado por la ecuación:

$$V_0 = V_1 + V_{\text{Álcali}} + V_{\text{Enjuagues}} \quad (5)$$

El término γ , es el coeficiente de dilatación volumétrica del agua cuyo valor es de:

$$\gamma = 2.1 * 10^{-4} \text{ } 1/^{\circ}\text{C} \quad (6)$$

El valor de ΔT , es el cambio de temperatura entre los puntos A y B. Y es en $1/^{\circ}\text{K}$, diferencia de grados Kelvin es igual en la escala de grados centígrados.

La ecuación del volumen final queda resumida así:

$$V_2 = (V_1 + V_{\text{Álcali}} + V_{\text{Enjuagues}}) * (1 + \gamma * \Delta T) \quad (7)$$

La ecuación inicial (2)

$$(C_1) * (V_1)_{\text{A}} = (C_2) * (V_2)_{\text{B}} \quad (2)$$

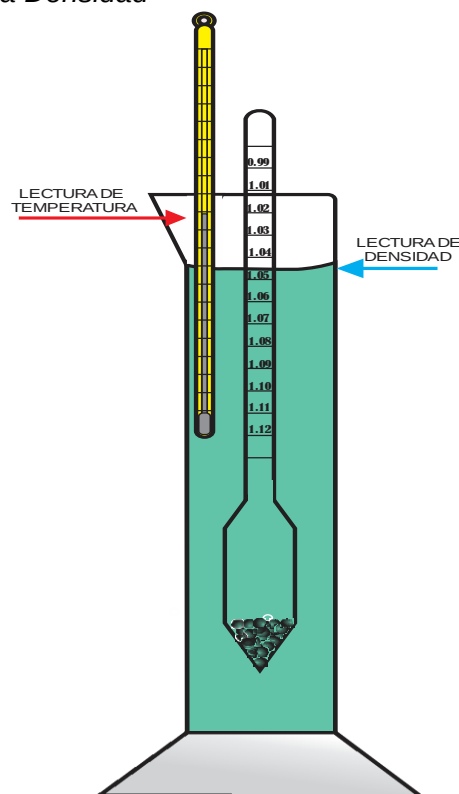
El valor de C_1 , que es la concentración del electrolito sea este sal o sulfato de sodio, medida en el punto A, se obtiene por medición directa de la densidad del baño, y la temperatura de la muestra a la que se evalúa. Este es un método muy conocido para determinar con una buena aproximación la concentración de la sal, usando la tabla de densidades y temperaturas, arrojando una concentración en gr/l de la sal. Este método se realiza únicamente antes de la adición del álcali, debido a que si se intenta hacer luego de la adición del álcali, los valores son seriamente desviados por la afectación en la flotabilidad del densímetro.

Por el contrario, la presencia de los auxiliares presentes cuando se hace esta evaluación a pesar de que en su mayoría son tensoactivos, en las cantidades habituales no producen una distorsión en el valor que se obtiene con el densímetro. Este instrumento consiste de un tubo de vidrio sellado por ambos extremos con una graduación

a lo largo de su cuerpo, y en un extremo está dotado de un compartimiento que contiene billas de acero, que le otorgan un peso. El instrumento flota en la solución, y de acuerdo a la longitud de su parte sumergida, se produce una lectura en su cuerpo que arroja la densidad relativa de la solución, a determinada temperatura, esto está fundamentado en el principio de Arquímedes. Esta operación se debe realizar en una muestra de la solución del baño, en una probeta, y midiendo la temperatura con un termómetro, en el punto correcto de avance de la curva de teñido.

Figura 19

Esquema de Medición de la Densidad



Nota: Se aprecia la marca del densímetro en el nivel de la superficie de la porción de baño y la lectura del termómetro.

Tomando como ejemplo la figura 19, la lectura de la densidad a partir del densímetro es de 1.046, y la lectura de la temperatura de 39°C. Estas coordenadas de temperatura y densidad, no se ubican de modo preciso en las tablas de densidad de la sal, debido a que estas tablas, indican concentraciones de electrolito a temperaturas múltiplos de 5, además, los valores de las densidades no figuran de modo preciso a la lectura obtenida.

Por ello es necesario recurrir al cálculo más aproximado que puede dar un ordenador, al cual se ingresan los valores de la tabla de densidad de la sal y unas pocas órdenes basadas en el cálculo por interpolación de valores cercanos a las coordenadas obtenidas por la medición práctica. Un ejemplo de este cálculo es el siguiente. Para los valores medidos de Densidad 1.046 y Temperatura 39°C la tabla muestra como valores más cercanos en las mismas columnas.

Tabla 3

Valores Medidos de Densidad 1.046 y Temperatura 39°C

Concentración	Densidad a 35°C	Densidad a 40°C
75 g/L	1.044	1.047
80 g/L	1.041	1.045

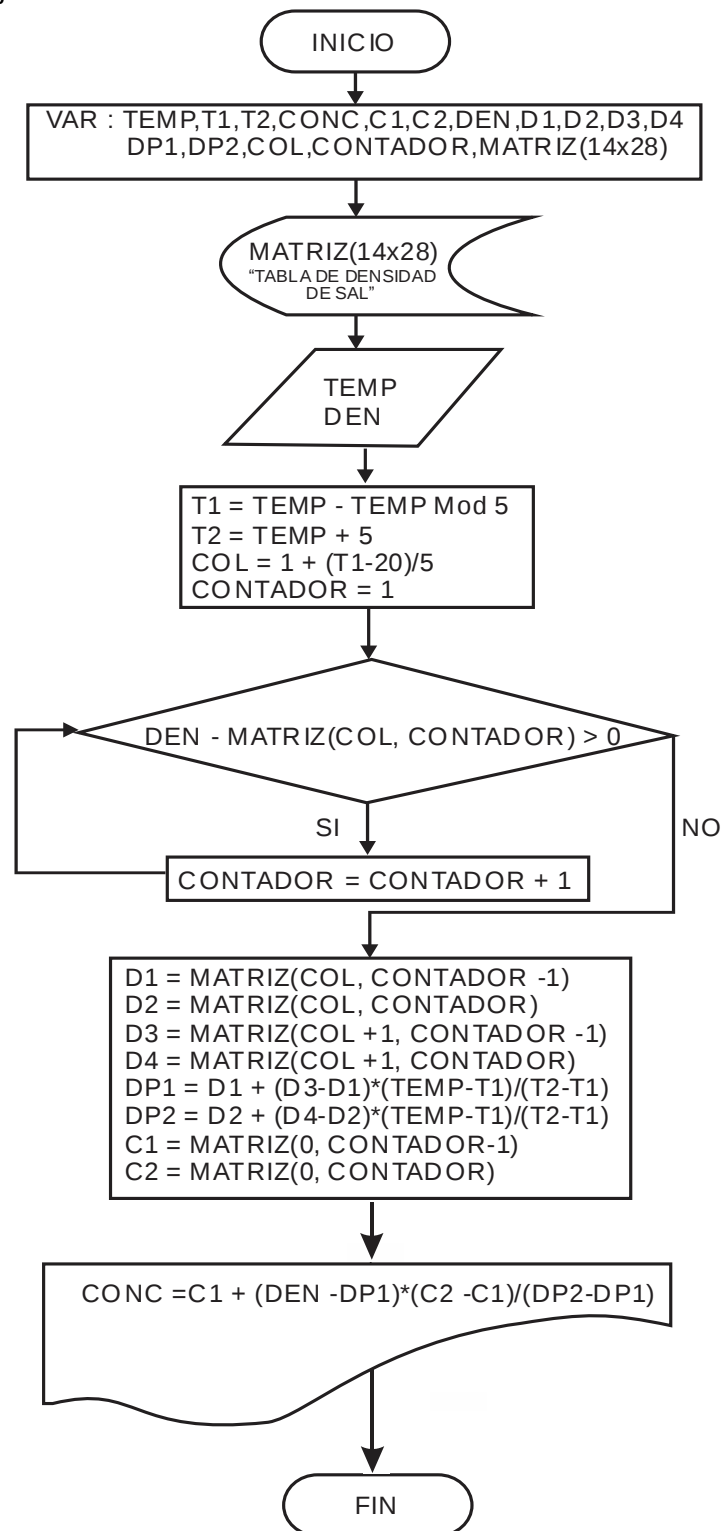
A partir de aquí y por doble interpolación y una extrapolación, y redondeando se obtiene:

T 39°C; Densidad 1.046; Concentración = 81 g/L

Aquí se muestra parte del diagrama de flujo para esta función de cálculo de la concentración. La aplicación determinará la concentración del electrolito, sal en este caso ingresando como dato la densidad del baño y su temperatura actual.

Figura 20

Diagrama de Flujo 1



Nota: En donde: T1 yT2 son las temperaturas menor y mayor a la temperatura leída; CONC, C1 Y C2 son concentraciones de sal; DEN,D1,D2,D3,D4,DP1 y DP2 densidades; MATRIZ(14x28) la tabla de concentraciones de la sal.

2.2.1.1 Ecuaciones generales consideradas en el proceso.

Aunque existan más de dos modos de hacer este cálculo y ajuste iterativo de la concentración del electrolito o del volumen de agua inicial del baño, se explican de modo sencillo dos maneras de asumir este cálculo, que, aunque pueden hacerse de modo manual, se calculan con mayor rapidez y exactitud usando un ordenador.

Método general de volúmenes acumulativos.

Este método, que es más preciso, pero a la vez más engorroso, considera que el volumen total que al final obtendrá el baño de teñido, será la acumulación de todos los volúmenes que se vayan agregando al conjunto. En el caso del teñido de telas en Jets, se incluye, el volumen inicial de agua limpia que se debe agregar para iniciar el movimiento de la tela, el volumen de absorción que ya aportó el textil húmedo luego del previo, y el cual depende de la configuración de cada tela en particular, los volúmenes que aporta cada adición tanto en el volumen en que este disuelto cada producto, así como cada volumen que aporte cada enjuague de la máquina que se ingrese y forme parte del baño de teñido, tanto en colorantes, electrolito, auxiliares y álcalis o cualquier otra adición.

Tal como se muestra en la ecuación 8, la concentración del electrolito en el punto A, definida como **C1**, es la concentración a la que se debe llegar, para conseguir que una vez que la curva llegue al punto B que es la concentración **C2**, esta sea igual a la concentración nominal de la receta.

$$C1 = \frac{(C2)*(V2)}{(V1)} \quad (8)$$

El volumen V2 de modo teórico, se establece por la relación de baño predefinida y el peso del material que se está procesando.

$$V2 = RB * W_{Material} \quad (9)$$

Y si además el valor de C2, que es la concentración nominal del electrolito, es un valor fijo y constante, de modo matemáticamente teórico, el valor de C1 y V1 tienen una relación inversamente proporcional.

$$C1 = (C2) * (V2) \frac{1}{(V1)} \quad \text{ó} \quad C1 = K \frac{1}{(V1)} \quad (10)$$

Este volumen V2, que de modo teórico es el producto de la relación de baño por el peso de la partida, debe coincidir con un cálculo paralelo que consiste en la sumatoria cuidadosa y técnicamente sustentada de los volúmenes de líquidos aportantes al sistema hasta el final de las adiciones que soporte el proceso, dicho de otro modo, bajo la implicancia de la siguiente ecuación:

$$V2 = \sum \text{Volúmenes Totales} \quad (11)$$

Entendiendo que, dentro de estos Volúmenes Totales, están agrupados todos los aportes de productos que otorgan un incremento en el volumen del sistema de teñido, tanto los que están presentes en el sistema al inicio del teñido, que en general es al final del subproceso del previo, como un proceso continuo que inició antes con la carga de crudo a la máquina, como los que ingresan posteriormente, con cada adición de producto al sistema.

De este modo, el resultado de la densidad de la sal medida, digamos en el punto de la curva previo a la adición del álcali, nos da una distorsión corregible dada por la ecuación:

$$\text{Distorsión} = \frac{C2 * V2}{V1} - C_{Medida} \quad (12)$$

Este valor de distorsión, está en las unidades de concentración del electrolito, como gr/litro. Y de aquí, el signo de la distorsión, nos dará la decisión en la corrección y el contenido de la corrección, si se agrega sal o agua de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Distorsión (+) Adición Sal} = \text{Distorsión} * V2 \quad (13)$$

$$\text{Distorsión (-) Adición Agua} = \frac{(\text{Distorsión} + C1) * V1 - V2}{C2} \quad (14)$$

En el caso del teñido en maquina Jet, una ventaja importante de calcular el volumen del proceso, como la suma de los volúmenes parciales, es que se calculan mejor el volumen de agua limpia de inicio y la corrección de la distorsión no será tan grande. Y en el caso del teñido en máquinas de volumen predeterminado, como las autoclaves de teñido, la aproximación de la relación de baño real del teñido será mejor, como dato para el desarrollo del laboratorio.

La dificultad mayor que se puede presentar en la parametrización de estos datos, es la obtención de los valores reales de los volúmenes implicados. Las máquinas modernas, poseen equipos de medición de volúmenes confiables, sin embargo, los datos aportados por equipos de la máquina de teñido, son solo una parte de ellos, los demás deben ser obtenidos a partir de los demás procesos de la tintorería como los de la cocina de colorantes, y otros como los propios del artículo textil que se esté tiñendo, como el porcentaje de absorción, el cual puede ser obtenido con una aproximación media por pruebas de laboratorio.

En el caso de las Tintorerías que operan con máquinas de teñido de escaso o ningún control electrónico confiable de sus valores volumétricos, es indispensable obtenerlos por medios externos de medición y a la vez desarrollar una rigurosa y estricta política de estandarización de todos los procesos de la tintorería, que busque de modo eficaz, la repetitividad de los valores parciales del proceso, por ejemplo si el llenado del bidón de dosificación de colorantes o del álcali, se trata de un proceso netamente manual, se debe dotar al bidón de una regleta de medición volumétrica, que obligue al operario a lograr siempre un mismo valor, teniendo que repetir la operación si es que esta no consigue de modo eficaz, el valor que por estandarización se da por aceptado.

Una vez lograda la obtención de todos y cada uno de los parámetros volumétricos, que previamente deben ser definidos por un técnico o junta técnica que analizó con detalle la variedad de casos que pueden tener un proceso de teñido con sus respectivas adiciones

y aportes de volumen de líquidos, se arman las diversas ecuaciones que representan cada caso.

Es importante notar que el manejo preciso de toda esta información es impráctico de hacer manualmente, de modo que al igual que en el caso del cálculo de la desviación de la concentración del electrolito estos cálculos deben ser realizados por un ordenador, a partir del ingreso de las órdenes precisas por una hoja de cálculo o un programa creado a partir de un lenguaje de programación.

Uno de los más importantes objetivos que se obtendrán con este cálculo es en primer lugar, darle el visto bueno a la factibilidad de poder teñir la partida en mención, a la relación de baño que se espera que se realice o a la que el laboratorio desarrolló, y es justamente esta desviación de la relación de baño, la que podría conducir de modo irremediable a un fracaso. Por ello este cálculo es importante hacerlo desde el desarrollo del color en laboratorio en la relación de baño real y adecuada para la máquina en la que se teñirá la partida.

El otro importante objetivo que se obtendrá con este cálculo, además de la factibilidad de llevar la partida a la relación de baño nominal, es la de otorgarle la seguridad de que sea así, controlando paso a paso cada adición desde el importantísimo volumen con el que se inicia la partida hasta la última adición, y aquí es importante señalar que el cálculo de la concentración de electrolito, que es un proceso intermedio permite hasta cierto punto corregir parte de la posible desviación de la relación de baño, o solo corregir la concentración del electrolito. De acuerdo a experiencias acumuladas, a lo largo de los años, si bien es cierto que ambos parámetros, la relación de baño y la concentración correcta del electrolito son parámetros a los que se aspira alcanzar en los valores nominales esperados, es de notar que inevitablemente existe un posible contrasentido en el resultado de una de ellas si el resultado de la otra ya fue alcanzado. Específicamente esto se da cuando la relación de baño ya fue sobrepasada por un exceso de volumen, entonces solo se puede aspirar a corregir la concentración de electrolito a un valor nominal.

Entre ambos parámetros es preferible, si no es posible corregir ambos sacrificar la relación de baño y priorizar la concentración de electrolito, debido a que, los colorantes reactivos en general son más sensibles a distorsiones en la concentración de electrolito que a distorsiones en la relación de baño (los grupos vinilsulfónicos suelen ser más sensibles a desviaciones en la relación de baño).

A pesar de que las firmas productoras de colorantes, procuran desarrollar tricromías de colorantes que tratan de producir un teñido paralelo o cinéticas paralelas de los tres colorantes que conforman la tricromía a lo largo de todo el proceso, es frecuente encontrar que, cuando se trata de reproducir un evento de teñido si es que en el segundo evento con respecto al primero se dio una diferencia en la concentración de electrolito, es más probable que alguno de los colorantes desarrolle mayor o menor intensidad (según se diera el caso de mayor o menor concentración general de electrolito) que si la distorsión se diera en la relación de baño. Por ello es recomendable priorizar la concentración de electrolito.

Por otro lado, luego de analizar los resultados de algunas partidas en la Reproducibilidad con respecto a las corridas de laboratorio de las cuales partieron, y se notara como común denominador que el resultado de los tonos de las partidas es consistentemente menos intenso que el de las corridas, una de las formas de corregir esta desviación es otorgarle un exceso mayor de concentración de electrolito, ya pre-calculado, el cual puede fluctuar entre un 5 a 10% mayor con respecto al usado en la receta de la corrida, y hacerlo como un proceso iterativo de corrección con los resultados obtenidos.

Método general del volumen actual.

Este método, el cual se emplea en la mayoría de tintorerías, es más sencillo de calcular, pero tiene aspectos que le dan cierta incertidumbre a su resultado, su eficacia es buena en general en la repetitividad con partidas de similares características de peso y relación de baño, pero cuando se varían estos parámetros su eficacia disminuye. Este método se basa en que el sistema de teñido, medido luego de la adición completa del electrolito, debe tener cierto volumen en determinado momento, si es que se aspira a que

el volumen al final, sea el definido por la receta, es decir el equivalente al producto del peso por la relación de baño.

Tomando el ejemplo anterior, en el punto A, se mide la densidad del electrolito, faltando la adición del álcali, en este punto el volumen actual viene dado del siguiente modo:

Sea:

$$C1 = \text{Concentración Actual}$$

$$C2 = \text{Concentración Nominal}$$

$$V_{Final} = RB * \text{Peso} \quad (15)$$

$$V_{Faltante} = \sum \text{Volúmenes Pendientes} \quad (16)$$

Entonces:

$$V_{Actual} = \frac{C2}{C1} * V_{Final} \quad (17)$$

Y a partir de aquí:

$$\text{Distorsión} = V_{Actual} + V_{Faltante} - V_{Final} \quad (18)$$

En donde el volumen final es el volumen nominal del peso por la relación de baño. En este caso la distorsión está dada en volumen, y de acuerdo al signo, de esta operación se define agregar electrolito, en el caso de que el volumen concluyente se haga mayor que el nominal (signo positivo), o agregar agua en caso de que el volumen concluyente se haga menor (signo negativo).

$$\text{Distorsión (+) Adición Sal} = \text{Distorsión} * C2 \quad (19)$$

$$\text{Distorsión (-) Adición Agua} = \text{Distorsión} \quad (20)$$

Un aspecto que genera incertidumbre en el resultado de este método, es el hecho de que el Volumen Actual, se calcula dividiendo la concentración nominal entre la

concentración medida, y este último parámetro está como denominador, si es que la adición de electrolito fuera errónea y en exceso nos daría la falsa idea de que el volumen actual es muy bajo, como si la mayor cantidad de electrolito agregado diera como resultado que nuestro volumen es bajo y mientras mayor sea el error por exceso de electrolito más bajo será el volumen actual, a pesar de que incluso esta adición de electrolito fuese con salmuera, que dé por si incrementa más aún el volumen del electrolito agregado.

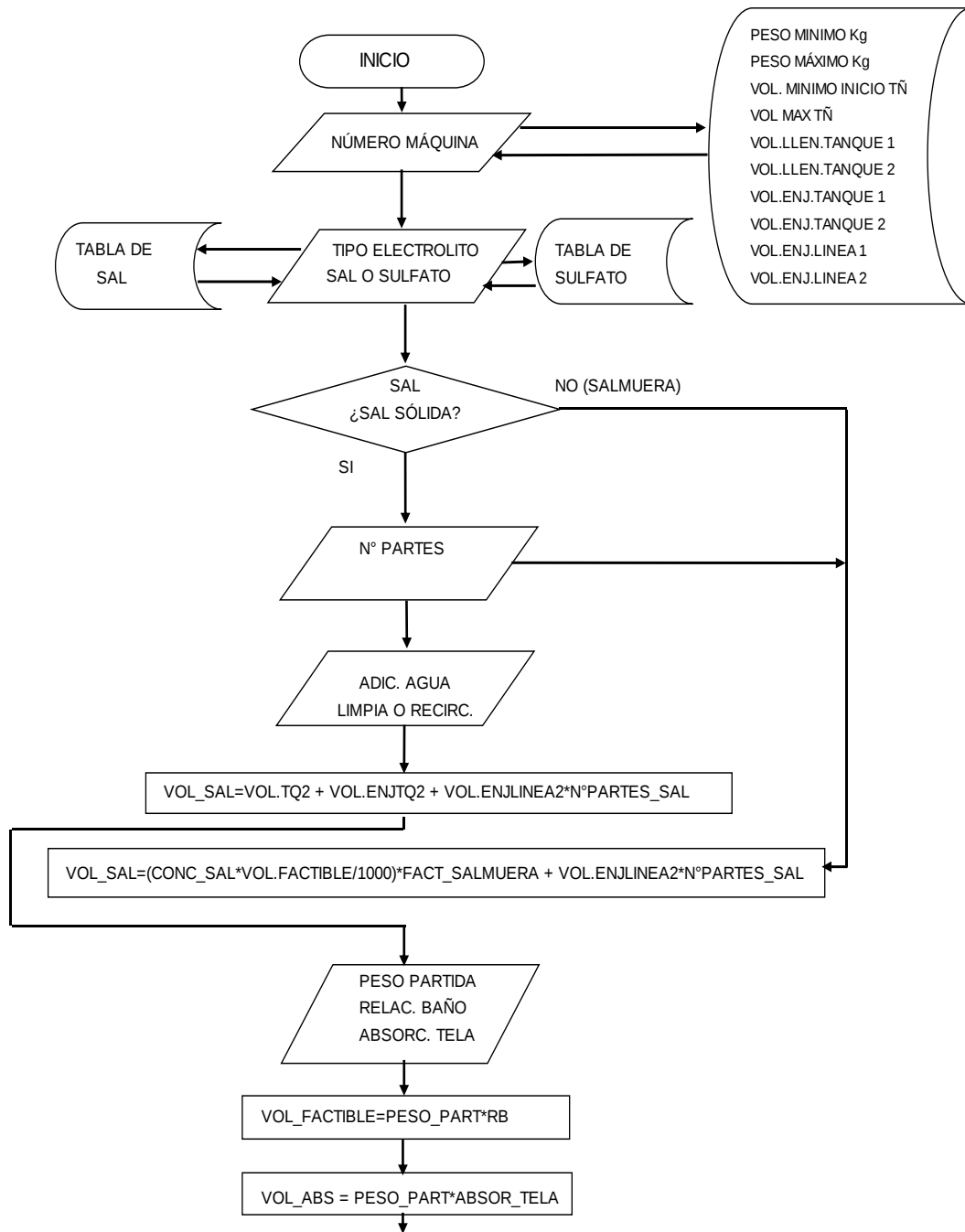
Con respecto al método de los Volúmenes Acumulativos, en los que se calcula una mejor aproximación al volumen real y que incluso, se puede avizorar cual será el volumen final y también se puede medir cual será la distorsión de la relación de baño con respecto a la relación de baño nominal, el método del Volumen Actual se fundamenta en la medición con el electrolito completo tratando de forzar las condiciones actuales a las condiciones teóricas como de la relación de baño, la cual podría estar desviada.

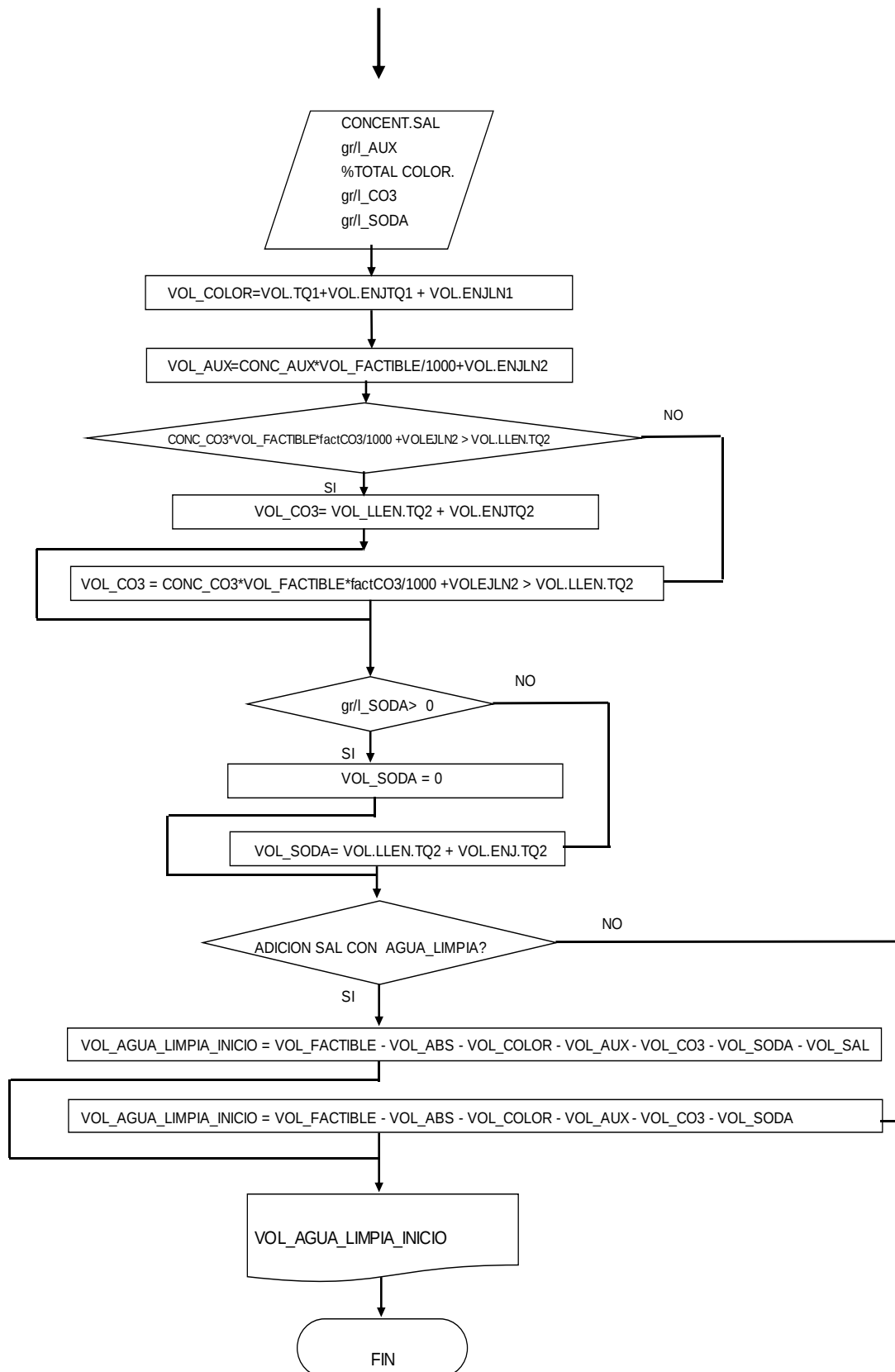
2.2.2 Diagramas de flujo del programa por ordenador.

La aplicación que se pueda usar, indudablemente, deberá ser adecuada a la necesidad y usos de cada Tintorería, aunque hay algunos conceptos comunes a todas las tintorerías de telas y otros tantos para las tintorerías de hilos, la hoja de cálculo o aplicación, que en general no tiene necesidad de ser muy compleja, debe estar adecuada a la forma de teñir de cada tintorería, por la tecnología de sus máquinas, la existencia o no de una cocina automática, y su respectivo modo de trabajo, y otras razones. A continuación, se muestra un ejemplo de una aplicación para una tintorería de telas, que utiliza una cocina automática, en la que se requieren de algunos parámetros como la absorción de la tela, y los parámetros propios de las máquinas de teñido y de la cocina automática.

Figura 21

Ejemplo de Diagrama de Flujo en el Control del Proceso en Teñido de Telas





Nota: La figura 21 muestra un diagrama de flujo basado en volúmenes acumulativos, para teñido de telas.

2.2.3 Aspectos considerados en el teñido de telas.

La tecnología, muy distinta de las máquinas de teñido de telas con respecto a la de teñido de paquetes, indica que cuando se desarrolle aplicaciones para tintorerías de telas, se debe usar algunos parámetros propios, entre los que se mencionan.

2.2.3.1 % de Absorción de la tela.

Este dato es útil, para obtener el volumen de absorción de la tela, que finalmente será parte del volumen total de teñido, y es el que la tela aporta luego de ser sometida al previo, y escurrida antes del teñido, esta retención de agua, depende mucho de la estructura del tejido, de que tan hidrófilo es el material, y otros aspectos más. Este dato no siempre es sencillo de obtener, además de la forma física de pesar el agua de una muestra escurrida en similares condiciones a la de la máquina, el uso continuo y de la aplicación con manejo de la información para medir el electrolito, puede también ayudar a afinar su valor.

2.2.3.2 Volumen mínimo de inicio de teñido.

Este parámetro propio de cada máquina de teñido es un dato muy crítico, que consiste en la cantidad mínima de baño que requiere cada máquina de teñido de telas, para mover la tela activando la bomba principal, y que se compone en un inicio del volumen de absorción de la tela. A pesar de ser un dato muy importante, muy pocas tintorerías lo conocen realmente, incluyendo a los operarios, por ello se recomienda levantar información de este dato, el cual no es muy complicado de obtener, usando volúmenes muy bajos, hasta lograr que la bomba empiece a operar, y dando un margen pequeño de seguridad.

2.2.3.3 Volumen de agua limpia de inicio.

Este dato muy importante, está muy ligado al anterior, y es el volumen necesario para completar a los volúmenes de absorción, y los de adiciones iniciales del teñido, para llegar al valor del *volumen mínimo de inicio de teñido*. En los casos en los que se tiñe con salmuera o sal líquida, este valor podría ser cero, por eso es importante, calcularlo

cuidadosamente con una aplicación, para que al final del teñido se logre un valor de volumen final muy cercano o exacto al volumen proyectado.

2.2.3.4 Tiempo de rotación.

Este parámetro es muy crítico, en el teñido de telas porque está más ligado a la igualación de la tela teñida, y está referido al tiempo que demora en pasar dos veces el mismo punto de la tela, por el mismo punto de la máquina, al rotar la cuerda. En la práctica se mide con un imán sujeto a la tela, que, al pasar por un sensor de la máquina, mide su tiempo de rotación con respecto al detectado anterior. Este dato depende de la tecnología de cada máquina, por ejemplo, en la marca “Brazzoli Saturno”, en sus diversas capacidades, es aceptado como seguro el valor por debajo de 1min 50 segundos, pero esto podría verse influenciado por factores como la longitud de la tela. Además, en otras tecnologías podría ser mayor, sin representar un riesgo.

2.2.4 Aspectos considerados en el teñido de hilados.

De acuerdo a la revisión de parte de la tecnología empleada para teñir hilados, en el caso del teñido de bobinas, salvo el caso del modelo “Pulsar” de la firma “Loris Bellini”, en todos los demás casos, se tiñen con inundación de las bobinas en el recipiente de teñido, lo que lleva a pensar que hacer la aplicación para el caso de teñido de hilados en bobinas, lo más crítico será conocer el valor de los volúmenes físicos, propios de cada máquina, y en el caso de las autoclaves de volumen variable, por altura variable del apilamiento de bobinas, el valor de cada incremental. El volumen ocupado por el material a teñir, puede ser predeterminado, debido a que en general las tintorerías procuran trabajar con pesos estandarizados de material que faciliten, su determinación por una regla de correspondencia sencilla con su peso o el número de bobinas.

2.2.4.1 Volumen muerto.

Es el volumen propio de cada autoclave de teñido, comprendido por el circuito inferior, el volumen interno de la bomba de teñido y el espacio inferior de la autoclave hasta

justo antes del nivel inferior del material o bobinas. Este parámetro es particularmente útil para las autoclaves de volumen variable, ya que, en el caso de las autoclaves de volumen lleno fijo, lo que es útil es el volumen total que inunda las bobinas.

2.2.4.2 Densidad de las bobinas.

Este parámetro es útil para lograr una igualación aceptable del teñido, pero no para elaborar la aplicación. La densidad de la bobina es el peso de la bobina dividido entre el volumen que ocupa. En la práctica se obtiene pesando el material destarado, y midiendo su volumen por su geometría. Un rango aceptado, está alrededor de los 360 gr/l, pero eso depende de la tecnología de cada caso. Este parámetro mide el apelmazamiento del entrecruzamiento de los hilos, en donde, si el apelmazamiento es muy denso, se dificulta el paso del flujo del baño produciendo una zona menos irrigada, y por ende menos teñida, al contrario, una densidad muy baja podría generar una deformación grave en la bobina por la acción de la alta presión del baño de teñido por efecto de la bomba de circulación.

2.2.5 Marco legal.

Dentro de los procedimientos definidos para el presente trabajo de estudio, se recurre de modo regular a la evaluación visual de los tonos, tanto en los resultados de las corridas de laboratorio como en las muestras obtenidas de las partidas de planta, para ello este procedimiento se sustenta en la norma AATCC Evaluation Procedure 9-2011, (Procedimiento de evaluación AATCC 9-2011) de la “American Association of Textile Chemists and Colorists” (Asociación Americana de técnicos y químicos textiles), cuyo título es “Evaluación visual de la diferencia de color de los textiles” . Desarrollada en 1999 por la AATCC, comité RA36: revisada el 2002, 2010, 2011; reafirmado el 2007; editorialmente revisado el 2008. El procedimiento está referido a las condiciones de ambientación, iluminante, ángulo de observación, entre otras definiciones que hacen confiable y universal la observación, de los tonos de las muestras.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.

La reproducibilidad de colores desarrollados por receta directa del laboratorio, siempre representa un reto para toda tintorería. Una señal de esta mala reproducibilidad, son los eventos en los que la distorsión del color resultante de la partida, con respecto a un patrón definido resulta en una diferencia notoriamente mayor en relación a otros resultados. Estos eventos sin embargo pueden tener diversas causas, en los que es absolutamente obligatorio definir, siguiendo una serie de procedimientos, que lleven a separar, los eventos que tiene un origen en un error operativo, o de gestión de los que son propiamente de mala reproducibilidad, y que son de mayor relevancia, aquellos en los que resultaron desviados a pesar de seguir de modo correcto la curva de teñido, los valores de los parámetros fueron los correctos, y el resultado no fue, no solo no bueno, sino altamente desviado.

Hay que señalar que la mala reproducibilidad está ligada también, al matiz del color, es decir no todos los matices tienen las mismas malas o buenas reproducibilidades. Y esto se debe a diversas razones, principalmente a que, por lo general las tintorerías, emplean tricromías básicas, a partir de las cuales se conforman la totalidad o mayor parte de los colores de trabajo. Cada color formado a partir de una tricromía básica tiene una participación particular de cada colorante, y justamente cuando la participación de cada colorante es más equitativa con los otros dos, se produce un color de más difícil reproducibilidad e incluso repetitividad, debido a que, una pequeña distorsión mayor o menor de uno de ellos en su rendimiento, con respecto a una proporción ideal, provocará un tono distinto.

A estos colores se le conoce también como colores tricromáticos, es decir aquellos con participaciones similares de los tres colorantes participantes. Ejemplos comunes de estos colores son los grises, kakis, olivos, etc. y justamente son matices como estos, los que el ojo humano, detecta hasta en sus pequeñas desviaciones. En el caso de los grises, logrados con una tricromía básica, no con un colorante gris como componente, reproducir

el tono a partir de una corrida de laboratorio, resulta complejo, porque bajo la misma lógica, un muy pequeño rendimiento mayor o menor de alguno de los colorantes, implica lograr un gris distinto, y el ojo humano lo detecta. Por ello resulta conveniente, usar los colores grises, como colores de pruebas para evaluar los cambios que se apliquen para mejorar la reproducibilidad, en la idea de que, si se logra mejorar o revertir la mala reproducibilidad en los tonos grises, superar los demás tonos será más viable.

3.1 Aspectos físicos y químicos.

El rendimiento de los colorantes es el factor más crítico de la reproducibilidad, si un colorante rinde de un modo distinto en la planta con respecto a la corrida del laboratorio, ocasionará un tono distinto, aunque los otros dos colorantes de la tricromía, hayan logrado rendimientos iguales o muy aproximados, y en general eso es lo que sucede. La falla de un solo colorante en la mayoría de los casos, es la que produce el fuera de tono, por ello es importante estudiar detalladamente, cada componente de la tricromía, con los resultados de las partidas de planta, se evalúa cual es el colorante que comúnmente falla, y una vez identificado, hacer comparaciones de las posibles diferencias que puedan ocasionar esto.

Por ello los colores grises son más apropiados para este estudio, porque son visualmente más sencillos de detectar, el rendimiento distinto de algunos de los colorantes de la tricromía.

Un factor fisicoquímico, es la concentración del electrolito, el cual en resumen otorga condiciones al material celulósico, para que pueda facilitar su acercamiento y reacción con el colorante. Aquí se debe procurar una concentración suficiente que maximice el rendimiento del colorante.

Un factor de naturaleza química, son los pH's del proceso, principalmente el pH de fijación, debido a que si este valor en la planta, resulta por debajo del logrado en laboratorio, lo más probable es que el rendimiento del colorante sea menor. Por ello, en el control de proceso de planta se debe forzar a lograr un pH igual al logrado por el laboratorio,

incrementando en cierta cantidad, la concentración del álcali por agregar, por ejemplo, si la concentración de la corrida del laboratorio, es de 10 gr/l de carbonato, en la planta se podría emplear un 20% más de carbonato, es decir 12 gr/l de carbonato. O si los álcalis son carbonato y soda a la vez, se podría incrementar la soda en +0.5 gr/l, es decir si estuviese conformada por 5 gr/l de carbonato y 2.0 gr/l de soda, se podría convertir a 5 gr/l de carbonato y 2.5 gr de soda, para tener una mayor probabilidad de obtener un mayor valor de pH.

Experimentalmente, el incremento del valor del pH, desde el pH de inicio hasta el pH de fijación, a lo largo de un proceso de teñido en planta, es un valor que se mantiene más o menos constante, es decir si una partida, iniciada a un pH de 6.5 con la cantidad definida de álcali para dicha partida terminara en un pH de fijación de 10.5, es decir que, debido al álcali el pH se incrementó en 4, si se tiñera otra partida igual, con las mismas cantidades de álcali, pero que esta iniciara a un pH de 7.0, es de esperar, que el pH de fijación de esta otra partida, alcance un valor de 11.0, es decir se mantiene la diferencia de 4.

Por ello, aunque existan recomendaciones de, iniciar el proceso de teñido a un pH muy bajo, con el propósito de evitar una posible reacción prematura de los colorantes, que a su vez produzca una indeseable mala igualación, hay que tener en cuenta que mientras más bajo sea el pH de inicio, más bajo terminará el pH de fijación, por ello si no se pretende incrementar el pH de inicio, por temor a la mala igualación, lo explicado anteriormente de incrementar las cantidades de álcali de la receta de la planta tiene una buena justificación.

3.2 Reajuste de parámetros en laboratorio y planta.

El objetivo, es mejorar o hacer óptima la reproducibilidad y la repetitividad de las partidas, y para ello es válido, revisar todos los factores posibles que intervienen en el tema, por ejemplo una forma de mala reproducibilidad reflejada de modo consistente en la intensidad de los tonos, ya sean estos más o menos intensos, que los desarrollados en el laboratorio, pero no desviados en matiz, pueden deberse a un mal cálculo, o mala definición

del peso de la muestra de las corridas de laboratorio, recordando que este es un parámetro crítico.

Es común, que, en el laboratorio, se tiñan las muestras de las corridas con un material pretratado, por lo general pretratado en la planta, en la idea de minimizar posibles diferencias con un respecto a un material con previo, realizado en laboratorio, y el peso de la muestra seca con previo, es castigado con una merma, imitando la pérdida del peso infringido por el previo de planta. Existen varios enfoques en este punto, en pocas tintorerías, en las que se usan de común dos o más tipos de tratamientos previos, se hace una diferenciación entre los pesos de muestras de uno u otro previo, e inclusive si se usa otro material no se varía el peso de la muestra.

Es conveniente hacer un estudio de las mermas reales de los diversos materiales empleados, pesando muestras crudas grandes, antes y después de los previos en planta, en los que indudablemente los blanqueos producen una mayor merma, y las viscosas suelen llevar solo un jabonado reductivo como previo, entonces la merma puede ser nula. De cualquier modo además de un análisis de mermas reales, siempre hay que evaluar resultados de reproducibilidad en el tema de la profundidad de los tonos resultantes, tomando como regla que un peso muy bajo de muestra de corrida, puede producir un tono intenso de corrida, aunque el peso teórico crudo sea constante, esto porque hay menos material que teñir y los colorantes aparentemente rendirán más, y al revés, si al peso de la muestra no se le considera merma, el tono de la corrida resultará menos intenso, y en la planta podría resultar algo más intenso.

Otro tema importante, es la equivalencia en las curvas de teñido, tanto en laboratorio como en la planta, como se mencionó anteriormente, no todos los subprocesos de la curva de planta, pueden imitarse en laboratorio. Las dosificaciones, por ejemplo, que por lo general son progresivas en la planta, solo pueden ser puntuales en laboratorio, lo que se debe hacer, es reemplazar una adición progresiva, de la curva de la planta respetando los tiempos, en la curva de laboratorio, en dos adiciones puntuales, al inicio y

al final de la adición, usando fracciones del total de la adición, una fracción pequeña al inicio y todo el resto al final.

El proceso en la planta, por otro lado, debe lograr igualar los valores de los pH desarrollados por el laboratorio, para ello es importante que, el laboratorio proporcione la información detallada de los pH, del proceso del previo, del teñido y jabonados en laboratorio, y si los valores en la planta no son alcanzados, como ya se ha mencionado anteriormente, la receta puede modificarse solo para la planta, incrementando el álcali del teñido, en el caso del pH de fijación, o por ajustes en los demás pH, adicionando carbonato o algún producto acidulante, según sea el requerimiento de aproximación.

3.3 Estudio de la repetitividad de tonos.

La repetitividad, es el comportamiento de las partidas repetidas, es decir aquellas en las que se mantiene la receta, el material y una relación de baño aproximada. En estos casos, por lo común, el resultado de los tonos debe tener una muy leve dispersión, con respecto a un patrón que viene siendo la primera partida, teñida con la misma receta. Si no se diera una leve dispersión, en los tonos, se tienen que estudiar las razones, que puedan causarlo, entendiendo que la repetitividad es un tema perteneciente enteramente a la planta.

3.4 Análisis de diferencias.

Si la repetitividad fallara, cuando se varia la máquina de teñido, aunque se mantenga la relación de baño, esto podría tener varias razones, pero luego de descartar un tema de diferencias en la temperatura, una muy posible razón, podría ser que los parámetros de volúmenes de la máquina, no sean los correctos, y se use una relación de baño que no es real. En este caso se debe revisar la información de dicha máquina, y comprobar los volúmenes, y diseñar cuidadosamente una composición de todos los volúmenes participantes en el proceso que podrían redefinir la relación de baño, incluyendo el volumen de la absorción del material con previo, volúmenes de inicio, de adición, o enjuagues.

La gestión de control del proceso de teñido, debe ser lo más precisa que se pueda desarrollar, usando aplicaciones por computadora para el control del electrolito, para el control de iteración de los pH's, y también en la definición de los parámetros iniciales del teñido, que permita una proyección más precisa de los volúmenes finales. Cuando se repite una partida en las mismas condiciones, es muy frecuente que los parámetros de control de esta partida, se repitan en valores, con las otras partidas del mismo color y condiciones, por ello es indispensable que la gestión, alcance a desarrollar una base de datos física, que acumule toda la información relevante de los parámetros de cada partida, para saber, entre que valores deben fluctuar los datos de control, y detectar un posible error por la distorsión. La gestión del control, debe alcanzar también a un estricto control de calidad de los insumos, el agua, con todos sus parámetros de calidad, el electrolito, los álcalis, y un control minucioso de los colorantes, su continuidad en los cambios de lote de producción, este es un factor crítico, en el que, si no se tiene una política clara de alerta permanente ante un cambio de lote, podría producirse una muy mala repetitividad, este problema de la falla en la continuidad de los tonos de los colorantes es más frecuente de lo que mucho técnicos puedan pensar, y por experiencia se presenta hasta en las marcas más prestigiosas de colorantes y que se detecta con un buen sistema de evaluación.

3.5 Revisión de los controles.

Manejar una permanente base de datos de la planta, con una muestra física, de cada etapa, como el previo, muestra de teñido, (si es que no se implementa aún la política de "Baño ciego"), muestra jabonada y acabada, otorgará buena información para definir y decidir refuerzos en cada etapa, como el previo blanqueo, en donde se puede incrementar el peróxido, la soda, el tiempo, o la temperatura; los valores de pH ajustando hacia los valores históricos de partidas anteriores exitosas; el matiz de teñido, verificando o adicionando colorantes contra información de partidas exitosas; y muestras jabonadas finales, para verificar el tono final.

La aplicación que se elabore, para el control del electrolito, siempre debe estar sujeta a ser modificada, de acuerdo a los resultados que se vayan obteniendo. Por ejemplo, si la profundidad de los tonos resultara, menos intensa, se puede corregir el control del electrolito, agregando un exceso de electrolito, sobre la concentración nominal real en la planta, para favorecer un mayor rendimiento de los colorantes, que en general es más barato que incrementar un cierto porcentaje a los colorantes, y este exceso pueda ser monitoreado en el tiempo y nuevamente ser ajustado hasta conseguir metas de aproximación de los tonos. Otro dato de la aplicación, referida al cálculo de los volúmenes de proceso, en el teñido de telas, es la absorción del material. Este dato propio de cada material debe ser siempre sometido a evaluación, sobre todo cuando se presenten materiales nuevos, medido físicamente y cruzando la información con el cálculo de electrolito del proceso, ya que una absorción mal considerada alta, resultaría en un valor de volumen de absorción alto y el cálculo del volumen de inicio y la relación de baño real se alterarían.

3.6 Funciones críticas del Laboratorio.

La implementación de mejoras en la tintorería representa una serie de eventos que aspiran a un objetivo de mejorar la reproducibilidad y la repetitividad, hasta un punto tal, en que se pueda trabajar en RFT, y finalmente en modo de “Baño ciego”. Sin embargo, estas mejoras se deben apoyar en un sistema sólido de trabajo de toda la tintorería en la que, sin duda, las funciones del laboratorio, por ser el órgano iniciador del proceso, asumen un carácter de crítico y fundamental, que van más allá de solo formular recetas y lab-dips. A continuación, se mencionan algunas de estas funciones cuya implementación si es que no lo están, se deben de asumir y gestionar, de lo contrario, haría muy difícil pensar en logros importantes, en materia de mejoras.

3.6.1 Inspección y verificación de los materiales textiles, productos químicos y auxiliares.

El laboratorio debe evaluar los materiales que ingresen, sean de algodón, viscosas o fibras sintéticas, en la idea de que cada producción que pase a planta, debe ser desarrollada como receta de laboratorio, sobre el mismo material que se empleará en planta, salvando posibles diferencias del sustrato por razón de lote, que implique posibles diferencias en su rendimiento.

Aquí es importante conocer cuál es la merma que cada material genera luego del proceso del previo, el cual siempre es recomendable que se realice en planta, con el mismo previo que se empleará en la producción real futura, pocos laboratorios hacen una verificación periódica del valor de esta merma, cuya mayor influencia radica en la profundidad, o mejor conocida como intensidad de los tonos de las partidas de planta, por lo regular el laboratorio realiza las corridas sobre muestras que ya llevan previo y con un peso escalado con una merma que imita la producida por la planta, la forma más sencilla de hacerlo, cuando se trate de algodón, es pesando la muestra cruda que se llevará a planta de tela, hilo u otro formato para hacerle previo y a partir de la cual se harán las corridas, y pesando bajo condiciones cuidadosas de acondicionamiento, la merma producida.

En el caso de otros materiales como las viscosas o fibras sintéticas en las que el previo suele ser solo un jabonado o enjuague, se considera que no existe merma. Otro parámetro importante es comunicar físicamente a planta el matiz del previo que empleo laboratorio, esto es crucial en el caso de los blanqueos, y más sensible en los tonos claros. La planta debe verificar si el tono del previo de la partida, en pleno proceso de blanqueo, es compatible con el tono sobre el cual trabajó el laboratorio. La base de datos física que arma la planta, debe siempre comprender esta muestra, para la reconstrucción de la información del color, la planta por otro lado, debe brindar una muestra grande y

representativa al laboratorio, para efectos de repetición de la corrida, en caso de reconstrucción del color fallido.

En el caso de los productos químicos y auxiliares, cuando ingresen nuevos lotes. El laboratorio, debe verificar si sus parámetros físicos y químicos, estandarizados en sus respectivas hojas técnicas, están dentro de sus rangos de validez, es decir parámetros como pH a cierta concentración, aspecto, densidad, rendimiento, formación de espuma, etc.

Es recomendable que el laboratorio cuente con un muestrario físico de todos los auxiliares que emplee la tintorería, en sus primeros lotes o lotes aprobados para efectos de comparación. Es importante que solo se trasladen a producción los productos químicos y auxiliares que, si cumplen correctamente sus características, de lo contrario, se podría generar una variable de incertidumbre en el éxito del proceso.

El empleo de soluciones de productos químicos en las corridas de laboratorio, deben de estar cuidadosamente seguidas, tanto en periodos de validez en el tiempo, como en sus concentraciones. Un caso común es, la solución del carbonato de sodio, empleado como álcali, debe ser renovado todos los días, debido a que luego de 24 horas su eficiencia como álcali es disminuida notoriamente. Esto es importante porque además de generar un causal de mala reproducibilidad, afecta la continuidad de la lógica secuencial de las corridas, atrasando el desarrollo de la receta.

Los pH's de las corridas de laboratorio, deben ser controlados y anotados y esta información debe ser alcanzada a la planta, en el formato definido para tales fines, aunque en ocasiones no es posible replicar sus valores en planta usando las mismas concentraciones, se debe hacer un estudio investigativo, que aporte razones de ello, y de ser necesario, adaptaciones de la receta para planta, incrementando las cantidades de álcali bajo ciertas reglas lógicas y probadas por medición.

Figura 22

Ejemplo de Información Técnica de un Producto Químico (sal)



INSUMOS INDUSTRIALES
Textiles • Fundiciones • Asfaltamientos

CERTIFICADO DE CALIDAD
SAL INDUSTRIAL PDV INCASAL

Lote: ID010
 Fecha de Producción: 20130124
 Método de Ensayo: GB/T5462-2003

Características Físico -Químicas

Determinación	Especificación	Resultados
Apariencia	Blanco sin materias extrañas	Cumple
Pureza (NaCl)	≥ 99.1 %	99.79%
Humedad	≤ 0.3 %	0.01%
Impurezas insolubles en agua	≤ 0.01 %	0.01%
Sulfatos (SO ₄)	≤ 2.0 %	0.031%
Antiaglomerante	≤ 10 mg/Kg	6.8
Calcio (Ca ⁺⁺)	≤ 0.25 %	No se detecta
Magnesio (Mg ⁺⁺)	≤ 0.25 %	No se detecta
pH	6 - 8	Cumple
Dureza	0.7-0.8 °dH	0.725
Densidad Aparente	2.165 kg/m ³	
Resumen	Cumple con los parámetros de especificaciones de la Sal de Calidad Superior definidos en el Estándar GB/T5462-2003	

Fuente: Certificado de Calidad del Proveedor


 Departamento de Calidad

Nota: Detalle de los parámetros técnicos del electrolito Cartilla de seguridad, 2014.

Figura 23

Ejemplo de Información Técnica de Auxiliar


CHT R. REUTICH GmbH

® COTOBLANC PCA

Carácter	Producto especial libre de tensioactivos, para la eliminación de colorante reactivo hidrolizado de tinturas y estampados con colorantes reactivos en baños que contienen electrolito
Estructura química	Mezcla de sequestrantes y polímeros con afinidad para el colorante
Aspecto	Líquido claro, incoloro hasta ligeramente amarillento
Carácter iónico	Ligeramente aniónico
Valor pH de una solución al 10 %	2,2 ± 0,5
Peso específico a 20 °C	1,05 ± 0,03
Estabilidades	COTOBLANC PCA tiene buena estabilidad a las durezas del agua y a los álcalis en las concentraciones industriales usuales. El producto no tiene sensibilidad a las heladas.

Los valores arriba indicados describen el producto. Las especificaciones obligatorias del producto son indicadas en la hoja de especificaciones de entrega. Otras informaciones con relación a las características del producto y los datos toxicológicos, ecológicos y relevantes a la seguridad se encuentran en la hoja de datos de seguridad.

Propiedades

El COTOBLANC PCA se utiliza para la eliminación de colorante reactivo no fijado de tinturas y estampados con colorantes reactivos. El producto actúa también en los baños que contienen electrolitos. El COTOBLANC PCA contiene un tampón para tamponar el bicarbonato sódico durante el jabonado.

Siendo un producto líquido el COTOBLANC PCA es adecuado para procesos de tratamiento posterior tanto en agregados continuos como en aparatos de tintura de hilos y máquinas de tintura en pieza. El producto es fácilmente manejable debido a que no genera espuma. Se deja mezclar con agua fría y dosificar sin problemas.

El COTOBLANC PCA no contiene tensioactivos y por ello, es absolutamente libre de espuma. No modifica la tensión superficial y no está sujeto a la normativa europea sobre detergentes.

Técnica de aplicación

Instrucciones de dilución

COTOBLANC PCA es miscible con agua fría en cualquier proporción.

® = marca registrada

Nota: Detalle de los parámetros técnicos de un auxiliar CHT, 2013.

3.6.2 *Inspección y verificación de los colorantes.*

Los colorantes, son los insumos más importantes de la receta, por lo tanto, su manejo requiere un seguimiento especial. En la recepción de un lote nuevo de colorante, se deben elaborar procedimientos lógicos y seguros que sean capaces detectar hasta una mínima diferencia en su rendimiento o matiz, por ejemplo, hacer corridas en por lo menos 3 concentraciones distintas del nuevo lote, en paralelo con el mismo número de corridas del lote del mismo colorante en pleno uso y de ser posible corridas también sobre el primer lote del mismo colorante, además de una corrida apuntando a un tono gris predefinido, con el nuevo lote, y otra del mismo gris con el lote en pleno uso.

Estas corridas deben ser comparadas tanto visualmente como con lecturas de espectrofotómetro, que incluyan comparaciones contra el lote en pleno uso y contra el primer lote de este colorante, en lecturas tanto de control de calidad, así como de fuerza de color, y ser evaluado por una persona calificada.

Si el dictamen de esta persona, pudiera no ser concluyente, lo recomendable es lanzar el teñido de solo un lote a planta, y si realmente se produjera evidencia de una diferencia entre el nuevo lote y el lote actual, la fecha de inicio del uso del nuevo lote, debe ser claramente definida, y todas las recetas históricas usadas previamente a esa fecha, deberán ser sometidas a corrección o revisión según sea lo más conveniente al caso.

Aunque poco frecuentes, estas diferencias, tanto de rendimiento o más rara vez de tonalidad, entre un lote de colorante y otro, es algo que afecta hasta a las más prestigiosas marcas de fabricantes de colorantes, y puede ser un problema si es que no se adopta una política de gestión clara del tema.

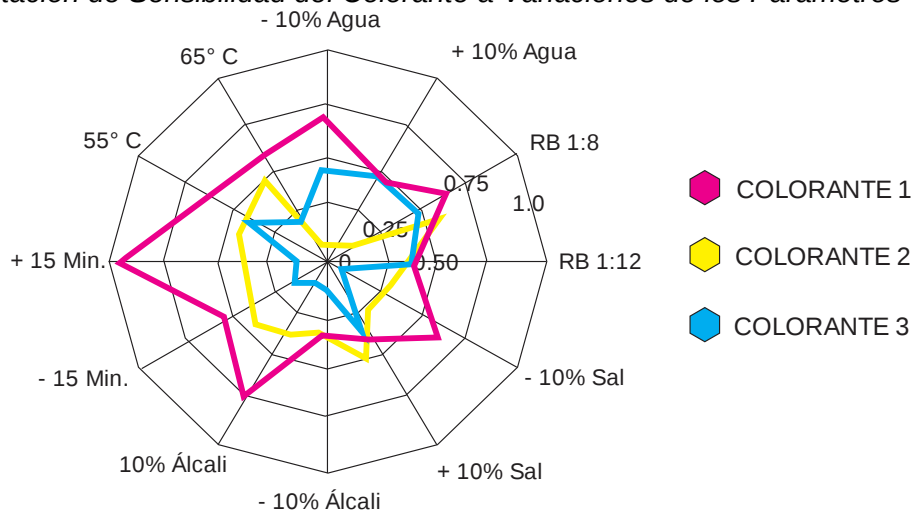
Otro tema alrededor de los colorantes, que el laboratorio ayuda a resolver, es el referido a la determinación de la nobleza de los colorantes, aunque este tema siempre inicia como conclusión del análisis general de los resultados de los tonos, en los que se detectan las tricromías, que tuvieron peor performance, en las partidas de planta. El

laboratorio debe hacer pruebas, a estos colorantes, de estas tricromías que concluyan en aclarar si son nobles o se afectan en mayor o menor grado por alguna distorsión de uno o más de un parámetro del proceso de teñido. Esta prueba puede dar buena información, en la explicación de los comportamientos aparentemente irregulares de algunos colorantes, y para concluir si es pertinente reemplazarlo por otro del mismo tono y mejor comportamiento.

La ejecución de estas pruebas no es sencilla y si laboriosa, y deben estar enfocadas en determinar cómo se afectan los colorantes que se usan habitualmente, con variaciones de los parámetros del proceso.

Figura 24

Representación de Sensibilidad del Colorante a Variaciones de los Parámetros



Nota: Adaptado de CHT, 2013.

En la representación anterior, el colorante 1, es el que más se afecta con las variaciones de los parámetros del proceso, particularmente con un mayor tiempo de agotamiento, en lo que es particularmente crítico, además por un incremento del álcali su rendimiento es bastante más pronunciado. Esto lo hace particularmente peligroso, incluso en la repetitividad de partidas. Mientras que los colorantes 2 y 3, tienen menores oscilaciones de sus rendimientos, lo que los hace más nobles frente al colorante 1.

3.6.3 *Gestión de la eficacia de los procesos internos del laboratorio.*

El análisis diario o periódicamente definido, de los resultados de las recetas de laboratorio que se envían a planta, es muy importante para hallar las razones de los problemas, y ello también obliga al laboratorio a disminuir las variables al problema dándole mayor confianza a sus procesos internos.

Periódicamente el laboratorio, debe evaluar la reproducibilidad de laboratorio a laboratorio, que consiste en la verificación periódica de la reproducibilidad entre las máquinas de laboratorio y ayuda a la detección de alguna máquina de laboratorio que produzca diferencias en su rendimiento, es natural pensar que, si esta diferencia se produce ya desde el laboratorio, en la planta producirá un problema grave.

Un periodo prudente para esta evaluación puede ser cada 20 días, en la que todas las máquinas hábiles para producir recetas a planta, tiñan un mismo color bajo las condiciones definidas, preferentemente de algún color gris de historia exitosa en reproducibilidad de laboratorio a planta, y a partir de estas corridas determinar si existe alguna distorsión. En el indicador de laboratorio que brinde información acerca de las partidas de planta fallidas, debe estar consignado el dato de la máquina que dio origen a esta receta, para cruzar la información.

Un aspecto importante de la gestión del laboratorio, es el correcto manejo de la información, para ello se debe asumir que los formatos son documentos de constante evolución y adaptación a los requerimientos de las necesidades, las cuales son también de constante evolución. Si en la planta se produce una variación en algún parámetro o redefinición de algún subproceso, esta información debe ser asumida y divulgada convenientemente a través de los formatos de laboratorio. Por ejemplo, el jabonado de cierto color con el empleo de un detergente distinto al usual, debe ser redefinido del mismo modo en laboratorio, bajo las nuevas condiciones de pH, temperatura, etc. que asuma el nuevo detergente, y sobre todo para las condiciones futuras que implique a los demás colores afectados por este cambio. Esto es un ejemplo, pero la idea debe ser aplicada

incluso a subprocesos a los que usualmente no se le atribuye mayor relevancia, como el exprimido de muestras, tiempo de secado, acabados o ambientación.

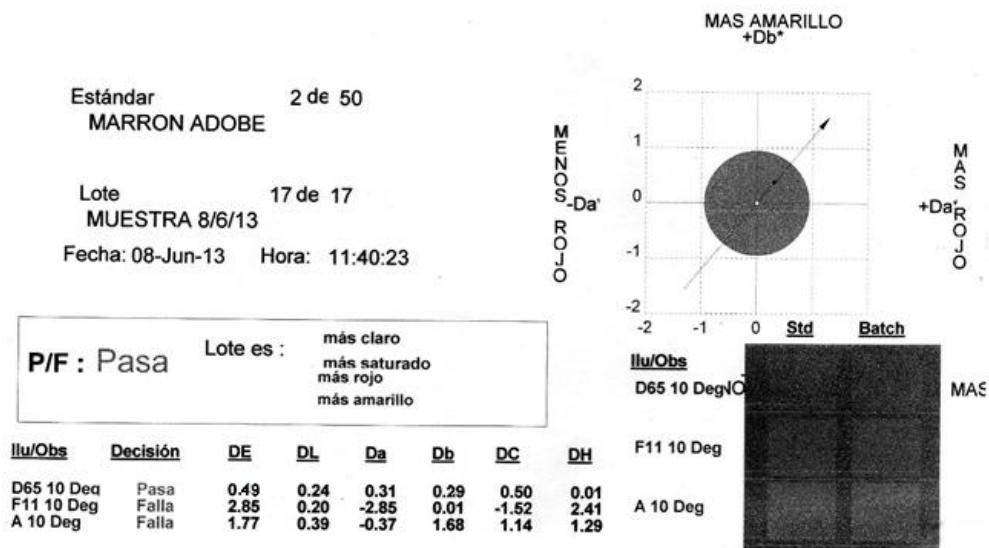
El empleo de equipos de dispensado automático, además de optimizar los tiempos, asegura la correcta cantidad de colorantes y productos con los que opera, para ello es importante que estos equipos se mantengan en condiciones óptimas de operatividad y mantenimiento. Un tema a considerar en el empleo de estos equipos es que, las soluciones de los colorantes no siempre tienen el mismo tiempo de vigencia, es decir, aunque incluso los proveedores de colorantes o de estos equipos afirmen que estas soluciones tienen una vigencia de alrededor de 72 horas, es conveniente suponer que no siempre puede ser así, es posible que algunos de ellos a partir de las 24 horas muestren alguna merma en su rendimiento.

Esta información podría iniciarse con los resultados de los indicadores de eficacia del laboratorio y unas pruebas que se podrían hacer, son corridas con soluciones del colorante o colorantes en análisis, con diferentes tiempos de preparación y antigüedad y así poder confirmar o descartar esta posibilidad. Se debe recordar, que siempre hay que apuntar a minimizar las diferencias entre los procesos de planta y laboratorio, en la planta los colorantes no son sometidos a soluciones con agitaciones tan prolongadas y enérgicas como se dan en estos equipos, al contrario, las diluciones de planta pueden durar menos de una hora, y en condiciones de mucha menor cantidad de solvente.

La aproximación de la corrida de laboratorio hacia el patrón debe ser muy alta, de forma tal que, si se produjera una desviación en el resultado de la partida de planta, esta desviación de la partida sea mínima con respecto al patrón, aunque probablemente mayor que la de la corrida. Por ello es recomendable fijar la aproximación con un valor de diferencia de color medida con espectrofotómetro, bajo alguna fórmula conveniente, un ejemplo de ello es fijar a una diferencia máxima de 0.5 de.

Figura 25

Lectura de Diferencia de Color



Nota: La figura 25 muestra un ejemplo de lectura de una muestra de laboratorio con un valor de diferencia de color DE = 0.49 medido con el iluminante Daylight D65 en la empresa La Colonial. Colonial, 2013.

3.7 Análisis económico.

Con el objetivo de analizar el impacto económico que produce un mejoramiento de los indicadores de la reproducibilidad y repetitividad de los tonos en una tintorería por agotamiento con colorantes reactivos, se evaluará el efecto que produce la disminución de los reprocesos en una tintorería, es decir la disminución de los reprocesos versus el aumento de partidas exitosas o partidas producidas en modo RFT, para ello se diseñará un modelo matemático basado en valores porcentuales, cuya proporción se ajusta a lo que representa una receta de una tintorería común dedicada a productos de exportación en el medio peruano.

Se asume una tintorería, en la que se producen en sus máquinas de teñido de algodón sobre tejidos e hilos con colorantes reactivos, partidas con los siguientes datos:

- 1 partida en un color promedio demora incluyendo demoras = 10.4 horas
- Al día por máquina se producen a partir de aquí 2.3 partidas/día
- En una semana de 7 días laborales se producen 16.1 partidas
- Un matizado en el mismo baño demora 2 horas adicionales al proceso

- Un matizado en baño nuevo demora 7 horas adicionales al proceso
- Un reproceso desde una partida seca demora en promedio 9 horas

Además, se cuentan con esta información de los no conformes, entre los que se mencionan matizados y desmontados con reteñidos. En la tabla 4 se muestra el costo porcentual como valor adicional, considerando al teñido RFT (bien a la primera) y en baño ciego como 100%.

Tabla 4

Costo Porcentual de No conformes

Costo porcentual de "no conformes" en teñido por agotamiento en algodón			
	Costo (%)	Productividad (%)	Utilidad (%)
Teñido en "Baño ciego"	100	100	100
Matizado en mismo baño	115	92	75
Matizado en baño nuevo	135	71	-38
Desmontado y Reteñido	210	51	-235

Nota: Datos de una planta local promedio

La información del costo porcentual de la receta, brinda información de la composición de los costos y del peso de cada componente. Un matizado en el mismo baño no excede del 20% del colorante original y un matizado en baño nuevo, no excede de un 25% del colorante original de la receta. Los reprocesos tienen composición variada en cuanto a su composición de colorantes, para este modelo matemático, el reproceso, emplea un 70% en promedio del costo de la receta original.

La tabla 5, muestra la composición porcentual de cada componente del proceso en el costo de la partida de teñido sobre tejidos o hilos de algodón, teñida con colorantes reactivos.

Tabla 5

Composición Porcentual del Costo de Una Partida de Teñido de Algodón

Componente	%
Colorantes	36
Productos químicos	10
Sueldos y salarios	15
Capital invertido	11

Energía	14
Agua	7
Depreciación	7
Total	100

Nota: Datos de una planta local promedio

Para poder calcular el sobrecosto que implica para una tintorería, el operar bajo ciertas condiciones de % de RFT, logrado, se analizará, como influye este parámetro en la aparición de partidas reprocesadas, dentro de un modelo matemático basado en el ejemplo con los datos descritos.

El número de partidas fallidas, obtenidas bajo cierto % de RFT, en una semana, estará dado por el tiempo con el que se cuente para ello, es decir, las partidas calificadas como RFT, o partidas que resultaron bien a la primera, sin necesidad de reprocesos, consumieron cierta porción del tiempo semanal, mientras que la diferencia en el tiempo, del total semanal que es de 168 horas, será empleado en las partidas fallidas, tanto en su primer proceso, el cual resultó fuera de tono, como en los subsiguientes reprocesos, que deberán ejecutarse, hasta levantar su estado de fuera de tono.

Estas partidas, cuyo número, debe ser calculado, serán reprocesadas bajo las mismas condiciones de % de RFT, es decir, si la tintorería operara bajo un % de RFT de éxito del 70%, teóricamente, el 70% de ocasiones en que se reprocese esta partida fallida, resultarán exitosos los reprocesos y la diferencia, el 30%, deberán ser nuevamente reprocesados. En la práctica, ningún reproceso tiene la expectativa de un 100% de éxito, de ser así, no se producirían reprocesos de partidas ya reprocesadas, aunque también es cierto que sus probabilidades de éxito suelen ser mayores que las de un proceso sobre material crudo, pero no es una regla general.

Un reproceso, no consume en estricto, el mismo tiempo que consume una partida de material crudo, debido a que, a diferencia de una partida de crudo, los reprocesos no llevan previo, solo un humectado o remoción de acabado, y comúnmente presenta un menor número de jabonados y enjuagues que una partida de material crudo. De acuerdo a esta premisa el tiempo asignado a un reproceso es de 9 horas.

Para efectos del cálculo, se usa como unidad las horas que consume cada partida, es decir si una partida bajo las condiciones definidas anteriormente, consumiera en su primer proceso, un tiempo de 10.43 horas, en un primer reproceso a un % de RFT del 70%, y con un tiempo de reproceso de 9 horas, resultará con un reproceso exitoso en un 70%, es decir, 6.3 horas de éxito, y 2.7 horas de reproceso fallido que deberá ser reprocesado nuevamente, y de acuerdo al modelo matemático, hasta que este valor se haga nulo.

De acuerdo a esta definición, se calcula el tiempo disponible para las partidas fallidas en una semana, como la diferencia entre las horas totales equivalentes a 168 horas menos los tiempos que consumen las partidas procesadas como RFT. Así, para semana con 100% de RFT, se procesan 16.1 partidas, con 10.43 horas consumidas por cada una de ellas, así se determina la tabla 16.

Tabla 6

Cálculo del Tiempo Consumido por las Partidas no Exitosas

Ítem	% de RFT					
	50	60	70	80	90	100
Número de partidas RFT	8.05	9.66	11.27	12.88	14.49	16.1
Tiempo partidas en RFT (horas)	84.0	100.8	117.6	134.4	151.2	168.0
Tiempo disponible de partidas fallidas (horas)	84.0	67.2	50.4	33.6	16.8	0

Nota: Datos del modelo matemático

Una partida no exitosa, operando en un entorno determinado de % de RFT, consumirá, en cada reproceso el equivalente en tiempo:

Figura 26

Tiempo Teórico Consumido por cada Nivel de Reproceso

Primer reproceso exitoso	$\left(\frac{\%RFT}{100}\right)^* T_0$	Primer reproceso fallido	$\left(\frac{100-\%RFT}{100}\right)^* T_0$
Segundo reproceso exitoso	$\left(\frac{\%RFT}{100}\right)^* \left(\frac{100-\%RFT}{100}\right)^* T_0$	Segundo reproceso fallido	$\left(\frac{100-\%RFT}{100}\right)^2 T_0$
i-ésimo reproceso exitoso	$\left(\frac{\%RFT}{100}\right)^* \left(\frac{100-\%RFT}{100}\right)^{i-1} T_0$	i-ésimo reproceso fallido	$\left(\frac{100-\%RFT}{100}\right)^i T_0$

Nota: Se muestra las fórmulas genéricas inherentes a los consumos de tiempo en los que los reprocesos exitosos provienen del reproceso fallido del nivel anterior. %RFT es el porcentaje de partidas "bien a la primera" y T₀, es el tiempo asignado a una partida de reproceso, definido como 9 horas.

A partir de estas definiciones se obtiene el tiempo total que representa el reproceso de una partida fallida, incluyendo el tiempo que consumió, en su primer proceso dese crudo.

$$\text{Tiempo partida fallida} = T_{\text{crudo}} + \sum_{i=1}^{i=\infty} \left(\frac{\%RFT}{100} \right)^i \left(\frac{100-\%RFT}{100} \right)^{i-1} T_0 + \sum_{i=1}^{i=\infty} \left(\frac{100-\%RFT}{100} \right)^i T_0 \quad (21)$$

A partir de esta fórmula y empleando valores de % de RFT, entre 50% y 100%, se desarrolla la siguiente tabla.

Tabla 7

Obtención del Costo Total en Partidas Exitosas y Fallidas

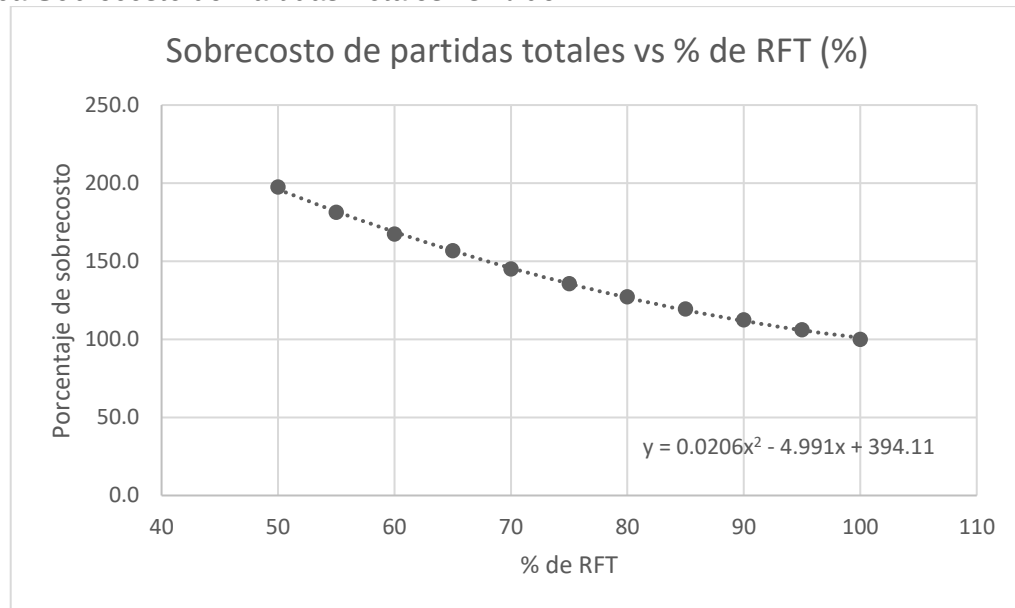
% de RFT	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Partidas fallidas (horas)	28.40	26.76	25.40	25.40	23.26	22.40	21.65	20.99	20.40	19.87	19.40
Número de partidas fallidas	2.96	2.82	2.65	2.31	2.17	1.88	1.55	1.2	0.82	0.42	0
Costo partidas totales (%)	197.4	181.3	167.5	156.8	145.0	135.6	127.2	119.5	112.5	106.0	100.0

Nota: Datos del modelo matemático

Al trazar la gráfica de los % de RFT, vs los Costos de las partidas en cada porcentaje, se obtiene la siguiente curva.

Figura 27

Gráfica Sobrecosto de Partidas Totales vs % de RFT



Nota: Se muestra la curva de la gráfica de los sobrecostos de los reprocesos, relacionados con el % de RFT, con los que opera una tintorería de acuerdo al modelo matemático desarrollado, así también su regla de correspondencia aproximada

La figura 27 resume como:

$$\text{Sobrecosto} = 0.0206 * (\%RFT)^2 - 4.991 * (\%RFT) + 394.11 \quad (22)$$

Este modelo matemático, que trata de calcular, los sobrecostos que representa para una tintorería, operar bajo condiciones distintas de porcentaje de RFT, arroja además como tendencia, que mientras menor sea, el porcentaje de RFT logrado, los sobrecostos, aumentan a una tasa aún mayor.

Si se plantea un modelo teórico de una tintorería, de producción media mensual de 100 toneladas, con un % de RFT inicial de 80%, con un costo operativo de 2 US-dólar, por kilogramo y una ganancia media de 0.5 US-dólar. En el que la meta sea llevar el % de RFT a 90% de RFT, lo cual es una meta poco ambiciosa, se obtendrían ahorros en los costos e incremento en la productividad, mostrados en la tabla 8.

Tabla 8*Análisis de Costos y Utilidades y Aumento de la Productividad*

	Kilos	Costo (US\$)	Utilidad (US\$)	Ahorro (US\$)
Producción mensual en 80% RFT	100000	200000	50000	0
Producción mensual equivalente en 90% RFT	100000	176887	73113	23113
Producción real proyectada en 90% RFT	106100	187677	76163	23113

Nota: Dato del modelo matemático

De la tabla 8, se aprecia que con una meta de solo 10 puntos en el incremento del % de RFT, de acuerdo a las condiciones de la tintorería definida, el ahorro responde a 23113 US\$ mensuales, si se considera la misma producción, y considerando un natural incremento de la productividad las utilidades netas se incrementan en 26163 US\$ mensuales.

3.8 Desarrollo del trabajo.

El proyecto es diseñado en su aplicación y toma de datos iniciales en un periodo aproximado de 10 semanas.

Tabla 9*Etapas del Desarrollo del Trabajo*

<i>Etapas</i>	Avance en semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.-Toma de datos iniciales de reproducibilidad y repetitividad	X									
2.-Determinación de parámetros de las máquinas de planta	X									
3.-Cargado de parámetros al software de control de teñido		X								
4.-Establecimiento de políticas de calidad específicos			X							
5.-Revisión de curvas de laboratorio vs planta				X						
6.-Ensayos de reproducibilidad inversa					X	X				
7.-Redefinición de curvas de laboratorio							X			
8.-Aplicación de pruebas en planta								X	X	
9.-Revisión de datos del software de control de teñido										X

Nota: Elaboración propia

Estudios aplicados en el teñido por Agotamiento con colorantes reactivos, sobre materiales celulósicos en la Tintorería de hilos de bobinas cruzada, “La colonial fabrica de hilos”.

La tintorería de ésta fábrica, ubicada en el Callao opera con su actual parque de máquinas desde inicios de la década del 2000, con máquinas de teñido en bobinas de la marca “Thies” de fabricación alemana, de volumen variable, con capacidades que van desde las 8 bobinas, poco menos de 8 kilogramos, hasta las 736 bobinas aproximadamente 715 kilogramos, además de máquinas de teñido en madejas con capacidades de teñido desde las 16 madejas, aproximadamente 16 kilogramos en el caso de la máquina de teñir en madejas del tipo armario de brazo móvil “Loris Bellini” de fabricación italiana, hasta las 168 madejas, aproximadamente 162 kilogramos, en el caso de la máquina “Cubotex” de tipo armario de fabricación italiana.

La producción de las máquinas Thies, representan la mayor parte de la producción total, estas máquinas son de volumen variable, es decir operan con portamateriales en los que se puede variar la altura de las bobinas apiladas en las espadas, con lo que se varían el número total de bobinas y a la vez el peso de la partida. Este apilamiento técnicamente puede hacerse desde una bobina apilada hasta 8 bobinas apiladas, por cuestiones de productividad mínima el apilamiento mínimo en esta fábrica, es de 4 bobinas, y en este caso se procesa una partida con la mitad de la capacidad de la máquina (“media máquina”), entonces el apilamiento puede ser además de 5,6,7 y 8 bobinas. Existe un volumen mínimo fijo operativo de la máquina el cual debe ser cubierto hasta el borde inferior de la bobina más inferior y a partir de ahí una cantidad igual de baño por cada incremento de la altura en cada bobina que se apile.

Al inicio del estudio, se contemplan las relaciones de baño consideradas por el sistema y las definiciones técnicas iniciales de la fábrica, pero luego de hacer las necesarias verificaciones volumétricas, se determinó que históricamente esta fábrica habría estado utilizando en muchos de los casos volúmenes equivocados, que generaron relaciones de baño equivocadas, pero este tema se tratará más adelante en la etapa de determinación de los parámetros técnicos de las máquinas.

La empresa en mención, tiene como uno de sus principales rubros la venta de hilado teñido, en el que, la empresa produce hilo crudo y lo tiñe al requerimiento de color que el cliente disponga. En el caso de los colores nuevos que no hayan tenido historia o knowledge en general, se define a partir de una serie de matices proporcionados por el cliente y preaprobados en la modalidad de lab-dips, o con otras modalidades como el uso de un patrón estándar como los manuales pantone o la elección directa de un color a partir de una carta de colores creada por la empresa.

En el caso de los colores que ya hayan tenido historia previa se recurre a la receta usada anteriormente, en lo que se apreció, al recopilar la información inicial, que se cometía el grave error por disposiciones de la dirigencia técnica que se usara la misma receta sin someterla a análisis de una posible variación en la relación de baño al cambiar de máquina o de proporción de fracción de máquina, lo que de hecho en muchos de los casos introducía una fuerte variación en la relación de baño y se convierte en causa de fuera de tono incluso para colores repetidos, y esto no era tomado en cuenta, y además no se contaba con los valores correctos de los volúmenes de las máquinas y sus fracciones.

3.8.1 Recopilación de indicadores iniciales de reproducibilidad y repetitividad.

La empresa “La Colonial Fabrica de Hilados S.A”, se dedica a la fabricación de hilados de algodón, y mezclas con viscosas o fibras proteicas como la Alpaca. Y dentro de este rubro posee una tintorería de hilados en los formatos de bobinas cruzadas y madejas, en donde se tiñen hilados producidos por la hilandería y que se comercializan como hilados teñidos. La mayor proporción de esta producción de hilados teñidos son teñidos en la forma de bobinas, por lo que se iniciará este estudio con la producción de bobinas.

Las bobinas son teñidas en autoclaves de diversas capacidades de la marca Thies, de fabricación alemana, y que son de volumen variable, es decir las bobinas se tiñen en portamateriales dotados de espadas, en los que se pueden apilar columnas de bobinas con una altura máxima de 8 bobinas y por política de la empresa el número mínimo de bobinas apiladas es de 4. Además, estas autoclaves tiñen con un denominado “colchón de

aire”, es decir el volumen líquido máximo con el portamaterial en su máxima capacidad, no llena completamente la capacidad del cilindro de la autoclave, el espacio de la parte superior, es llenada con aire presurizado que completa el equilibrio dinámico del sistema.

Se considera un periodo de 18 meses, con 14 meses anteriores al inicio de los cambios que se traten de hacer en la gestión de la información de los parámetros de teñido, 1 o 2 meses de ajustes y 1 mes de estudio de resultados, para tal efecto se ha recopilado la siguiente información, que contempla uno de los indicadores de mayor importancia, como son el porcentaje de reprocesos en el número de partidas, y el número de reprocesos en peso, el primero es un indicador muy directo, mientras que el segundo es consecuente e indudablemente de mayor importancia económica.

A continuación, las tablas 10 y 11 indican la información tomada del sistema informático integrado (ERP) de la empresa, en la que se señala los reprocesos en forma de porcentajes con una antigüedad de 14 meses en dos modos, como % de matizados en número de partidas y como % en peso de partidas, ambas tablas con sus respectivas gráficas, mostradas en las figuras 28 y 29 respectivamente.

Tabla 10

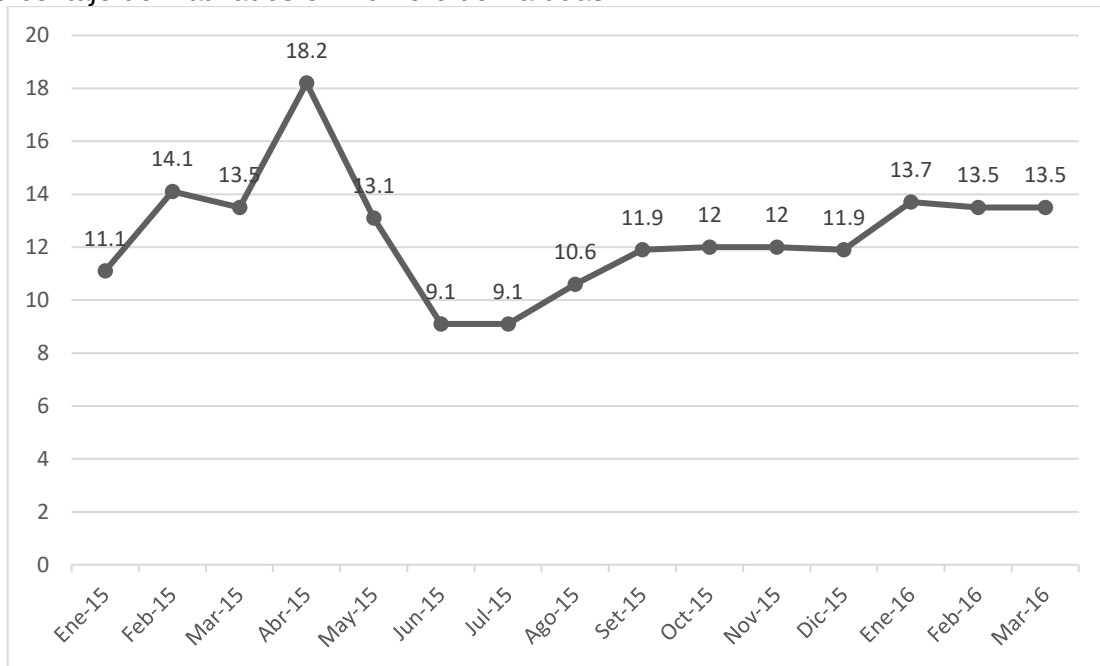
% De Matizados en Número de Partidas

Ene-15	Feb-15	Mar-15	Abri-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Ago-15	Sep-15	Oc-15	Nov-15	Dic-15	Ene-16	Feb-16	Mar-16
11.1	14.1	13.5	18.2	13.1	9.1	12.3	10.6	11.9	12.0	12.0	11.9	13.7	13.5	13.5

Nota: Elaboración propia.

Figura 28

Porcentaje de Matizados en Número de Partidas



Nota: Indicador de reprocesos en número de partidas, con recetas elaboradas por el laboratorio

Tabla 11

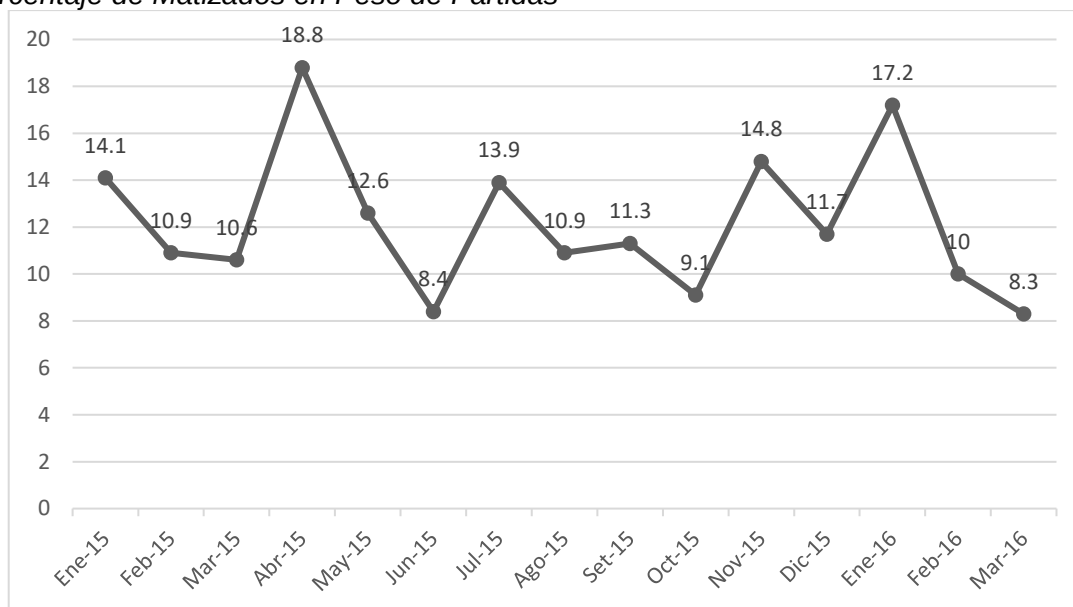
% De Matizados en Peso de Partidas

Ene-15	Feb-15	Mar-15	Abri-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Ago-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dic-15	Ene-16	Feb-16	Mar-16
14.1	10.9	10.6	18.8	12.6	8.4	13.9	10.9	11.3	9.1	14.8	11.7	17.2	10.0	8.3

Nota: Elaboración propia.

Figura 29

Porcentaje de Matizados en Peso de Partidas



Nota: Indicador de reprocesos en peso de partidas.

3.8.2 Determinación de parámetros técnicos de las máquinas de planta.

La Tintorería, utiliza un sistema informático (ERP), que emite las recetas impresas que utiliza tanto la cocina de colorantes y productos químicos, así como la planta, esta receta, contiene información propia de la partida como Número de partida, Cliente, Máquina, Color, Material, Peso, Relación de baño, Volumen del proceso, así como el detalle de los productos y colorantes que intervienen en el proceso, además de una hoja anexa que contiene información de la curva de teñido y rangos específicos de los pHs del proceso. La receta contempla el volumen del proceso el cual es un valor predeterminado, el mismo que puede variar de acuerdo a la altura que alcance el apilamiento de las bobinas, es decir depende de la altura de las bobinas y se expresa como una fracción, se muestra como ejemplo los valores usados en las autoclaves Nro. 5 y Nro. 6 de iguales características. La tabla 12, muestra los valores de volúmenes de las máquinas 5 y 6 (máquinas de mismo modelo, tamaño y características) asociados al número de bobinas de la partida y la relación de baño empleada que se considera para generar la receta de planta.

Tabla 12*Parámetros Iniciales de las Autoclaves 5 y 6*

Ítem	Fracción	Nro. bobinas	Volumen (L)	Diferencia V(L)	RB Inicial
1	1/2	64	470		1/7
2	5/8	80	570	100	1/7
3	3/4	96	670	100	1/7
4	7/8	112	770	100	1/7
5	Llena	128	920	150	1/7
6	Elástico	28 paq.	670		1/7

Nota: Autoclave Datos de la planta Máquinas Then5 y 6, La colonial.

Cada incremento en 1/8 de la fracción, implica el aumento de un nivel de bobinas en el caso de estas autoclaves, y dado que estas máquinas poseen 16 espadas, cada incremento de un nivel implica un incremento de 16 bobinas. Al observar la diferencia de volúmenes entre nivel y nivel, y que debería de ser un valor constante, se nota una diferencia grande entre el nivel de máquina llena, y el nivel de 7/8, en los demás casos esta diferencia es de 100 litros , pero en este caso es de 150 litros, lo cual indica que estos datos no son plenamente confiables.

Además, el sistema informático, que genera las recetas automatizadas, considera una única relación de baño (RB) de 1/7. Sin embargo al revisar los valores de los volúmenes de la demás máquinas, las distorsiones de las máquinas 5 y 6 de la tabla 4 , resultan ser los mas estables, los valores de las demás máquinas tienen una mucho mayor desviación. Además, de acuerdo a las curvas de teñido empleadas, las adiciones de álcali, se dan en 1, 2 o 3 adiciones, con hasta dos volúmenes distintos de los tanques o recipientes de dosificación de las máquinas, y que indudablemente producen volúmenes finales distintos, y sin embargo las recetas solo admiten un único valor de volumen por cada fracción que representa la altura del apilamiento de las bobinas.

De todos modos, los valores que se empleen deben ser siempre comprobados, y para ello es recomendable la asistencia de equipos con la calibración y exactitud práctica que otorguen la mejor confianza posible. Si bien es cierto existen empresas, que se dedican

a la medición certificada de los volúmenes de equipos como las autoclaves, empleando tecnología apropiada como caudalímetros o flujómetros, si es posible hacerlo con envases empleados de modo común en la planta de tintorería como envases de 20 L, 60 L o 120 L, cuidadosamente calibrados, en un proceso que normalmente no requiere de muchas horas de trabajo.

Dada la geometría, en su mayor parte regular de una autoclave, que es básicamente un recipiente de forma cilíndrica, es posible para este caso, considerar cada incremento de volumen por cada incremento de altura de bobina, como un valor constante, el cual es más sencillo de comprobar con una medición volumétrica y con una aproximación matemática, midiendo el diámetro del cilindro y la altura incrementada por cada bobina, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Incremento por bobina} = \Delta V = \frac{\pi D^2 * H}{4} \quad (23)$$

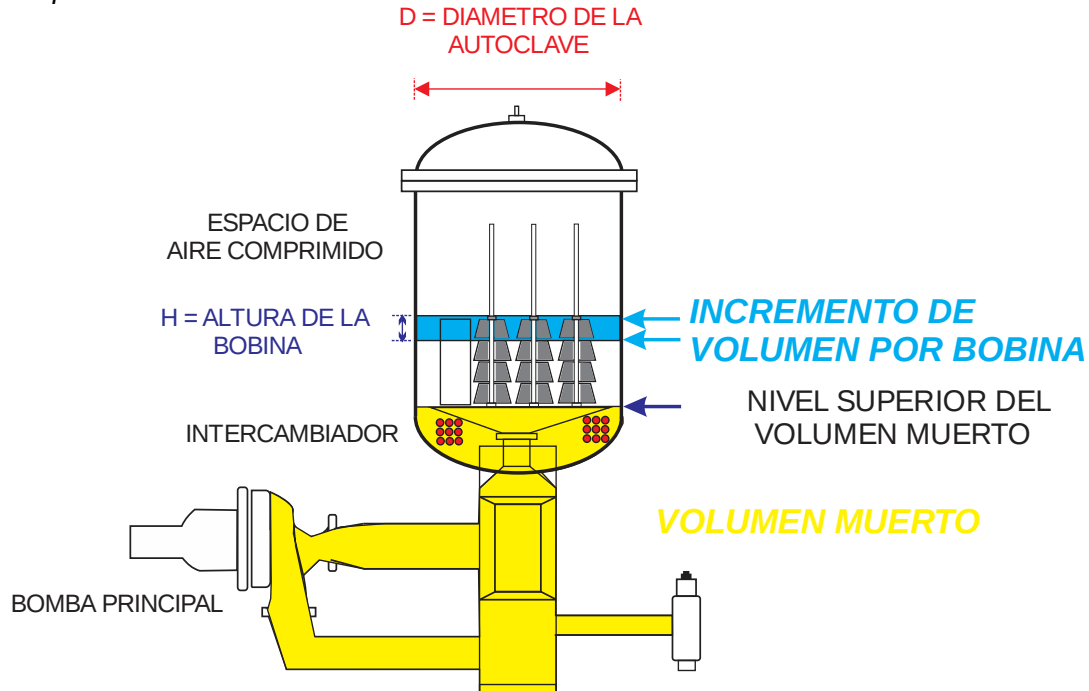
En donde: D es el diámetro del cilindro de la autoclave

H es la altura de la bobina

Lo que representa una relativa mayor dificultad, es la medición del volumen de la sección inferior de la autoclave, que comprende el volumen interno de la bomba principal o de circulación, así como el circuito que la une con el intercambiador de calor, y la válvula de cambio de sentido y todos los demás circuitos inferiores que recorre el baño, por debajo del nivel exactamente a la altura del borde inferior de la bobina, o lo que es lo mismo el piso del portamaterial, sobre el que se apoya. Esto debido a que justamente cada incremento en la altura del nivel del apilamiento de la columna de bobinas deberá contarse a partir de este nivel (recordando que por política de la empresa el nivel mínimo de apilamiento de bobinas es de 4 bobinas). El siguiente gráfico explica lo narrado.

Figura 30

Esquema de Medición de los Volúmenes de la Autoclave



ESQUEMA DE MEDICIÓN DE LOS VOLUMENES DE LA AUTOCLAVE

Nota: La figura 30 muestra el modo en que se componen las fracciones del volumen de la autoclave.

En el caso del Volumen muerto, puede ser medido, agregando agua en recipientes cuidadosamente verificados, hasta alcanzar el Nivel superior de Volumen muerto, y esto obviamente debido a la forma irregular que tiene este espacio de la máquina, comprendido por la bomba principal o de circulación, el intercambiador, la válvula de cambio de sentido, así como todos los circuitos y tuberías que los comunican, hasta dicho nivel.

En el caso del Incremental de Volumen, por cada bobina apilada, se medirá de dos modos, primero geométricamente, midiendo el diámetro del cilindro de la autoclave, y la altura de cada bobina, con estos datos se obtendrá el volumen correspondiente al cilindro de altura H, que se suma al volumen total por cada bobina que se apile, y a esto hay que restarle el volumen ocupado por la propia bobina, el sector de la espada y el sector del eje central del portamaterial.

Una forma experimental de medir el volumen de una bobina es mediante un método que imita un principio de Arquímedes, sumergiendo una bobina en un recipiente graduado lleno de agua y midiendo el volumen que desplaza, al ser sumergido. Sin embargo experimentalmente y con una aproximación aceptable para volúmenes mayores a 200 litros, el volumen de una bobina en litros es aproximado al peso de esa bobina en kilogramos.

Otros datos importantes que se deben obtener, son los volúmenes de adición al sistema, posteriores a la medición de la concentración del electrolito, y de acuerdo al punto de referencia en la curva de teñido, es el volumen de los álcalis. Esto implica el volumen exacto de la solución del álcali en el bidón o tanque de adición, así como el volumen del enjuague al bidón que ingrese a la máquina y forme parte del baño de teñido, (comunmente, las máquinas de teñido realizan dos enjuagues luego de la introducción desde el tanque de adición, uno de los enjuagues ingresa a la máquina y se integra al baño de teñido, y el segundo es eliminado al desagüe). En máquinas de volumen grandes, superiores a los 2000 litros, este volumen de enjuague puede parecer despreciable, pero es mejor siempre, hacer una consideración fina, explotando los recursos de una computadora, y recordando que en el caso de máquinas de volúmenes pequeños, todo dato aunque parezca pequeño, puede alterar considerablemente el valor total del volumen final de teñido.

Con toda esta información, es posible elaborar una hoja de cálculo o en general una aplicación por computadora, que permita obtener de modo rápido, sencillo y aceptablemente exacto los volúmenes finales, relaciones de baño, correcciones pertinentes, usando como datos de entrada, el apilamiento de bobinas (considerando niveles completos de bobinas, o haciendo la corrección, adecuada) número de adiciones de álcali o algún otro dato de entrada plenamente definido.

Luego de realizadas las mediciones en las autoclaves 5 y 6, y empleando hasta 4 envases graduados, con capacidades desde 0.5 L hasta los 200 L, y luego de múltiples mediciones que aseguren la confianza en los valores obtenidos, se registraron los siguientes datos:

Volumen Muerto de la Autoclave = 190 L

Las máquinas Nro 5 y 6, poseen dos bidones o tanques de adición, los cuales son de diferentes volúmenes, uno de ellos, el de mayor volumen, es usado para la adición de colorantes, y cualquier otra adición, particularmente el carbonato, el otro para cualquier adición, particularmente la soda, pero no colorantes. Se realiza la medición tanto de los volúmenes reales empleados, los cuales son bastante menores que la capacidad máxima del recipiente. Esta medición se lleva a cabo marcando el nivel de llenado en una adición automática regular, y llenando el volumen en agua hasta dicho nivel, medido con recipientes graduados. Además debe hacerse la comprobación con el llenado automático y las lecturas del programador del caudalímetro de la máquina, y verificar la congruencia entre los volúmenes seteados y los obtenidos físicamente.

Volumen del tanque de adición mayor = 40 L

Volumen del tanque de adición menor = 20 L

Además, se debe obtener el del volumen del enjuague posterior a una adición y que ingresa a la máquina. Luego de varias mediciones se obtiene una moda cuyo valor es:

Volumen de enjuague del tanque de adición = 7 L

El incremento en el volumen de la autoclave, por cada incremento en la altura de una bobina, se obtiene de ambas formas, tanto con la medición física, esta debe realizarse con el portamaterial cargado con material regular y con previo y seco, preferentemente blanqueo, el cual otorga una hidrofiliadad que ayuda a una mas rápida y mejor estabilización del nivel del baño. Si se realiza con cuidado y bajo condiciones regulares, este valor se hace constante y confiable.

Del mismo modo, este cálculo se debe realizar por la geometría del segmento de cilindro que representa el volumen incremental. Se mide el diámetro del cilindro principal

de la autoclave. En estas máquinas Nro. 5 y 6, el diámetro es de 80 cm y la altura actual de bobina de 16.5cm. De esta forma usando la ecuación (45) se obtiene.

$$\Delta V = \frac{\pi * D^2 * H}{4} = \frac{\pi (80)^2 * (16.5)}{4} = 82.94 \text{ L} \quad (24)$$

Una aproximación aceptable entre el peso de una bobina y el volumen que esta ocupa es expresar su peso en litros. Los ensayos experimentales tambien lo demuestran, de modo que si se resta a este valor el peso en litros de las bobinas que conforman una cama llena, que es de 16 bobinas con un peso de 0.97 kg por bobina en promedio, se obtiene:

$$82.94 - (16) * (0.97) = 67.42 \text{ L} \quad (25)$$

Y al medir con recipientes graduados se obtiene el volumen hasta el nivel usual de llenado, el cual cubre totalmente el seguro de la espada. La altura de este seguro, que es el accesorio que mantiene sujeta la bobina a la zona roscada de la espada es de 5 cm, el cual usando la misma formula, de la ecuación (26) da el valor:

$$\Delta V_{seg} = \frac{\pi * d^2 * h}{4} = \frac{\pi (80)^2 * (5.4)}{4} = 27.1 \text{ L} \quad (26)$$

El volumen hasta el nivel usual medido con recipientes graduados, resultó ser de 95 litros, Si a este volumen se le resta el volumen del seguro que es de 27 litros, se obtiene:

$$95 \text{ L} - 27 \text{ L} = 68 \text{ L} \quad (27)$$

Este valor es muy aproximado al obtenido de 67.42 litros, lo cual le da mayor confianza al cálculo anterior.

Es así, como luego de calcular la nueva propuesta de valores de los volúmenes para estas autoclaves 5 y 6, se confecciona la siguiente tabla, en la que se considera que los volúmenes finales, dependerán de las adiciones que contemple la curva de teñido, y ya

no un valor único para cada fracción de columna de apilado de bobinas, y la configuración de estas adiciones, también es variable, ya que cuando se trata de una única adición, que sería solo de carbonato, esta procede con adición con el tanque grande de adición, más un ingreso del enjuague del tanque de adición que es de 7 litros, en el caso de dos adiciones, se emplea tanto el TA grande como el pequeño con sus respectivos enjuagues, y en el caso de tres adiciones, procede con una adición del TA grande y dos adiciones del TA pequeño, todos con sus respectivos enjuagues.

Es interesante notar que, en comparación con los valores de los volúmenes empleados, estos volúmenes propuestos son mayores en las fracciones bajas y algo menores en las fracciones altas, lo que explicaría, porque la mayor cantidad de fallas tanto en reproducibilidad como en repetitividad, se da en las partidas pertenecientes a fracciones bajas, las mismas que por un tema de producción actual, son más numerosas, que las de fracciones altas.

Tabla 13

Volúmenes Propuestos de las Autoclaves 5 y 6

Fracción	Vol. con 1 Adición	RB con 1 Adición	Vol. con 2 Adiciones	RB con 2 Adiciones	Vol. con 3 Adiciones	RB con 3 Adiciones
1/2	<t	1/8.3	544	1/8.8	571	1/9.2
5/8	657	1/8.5	684	1/8.8	711	1/9.2
3/4	727	1/7.8	754	1/8.1	781	1/8.4
7/8	797	1/7.3	824	1/7.6	851	1/7.8
Llena	867	1/7.0	894	1/7.2	921	1/7.4

Nota: Datos de investigación de tesis.

En esta tabla, uno de los datos más relevantes, son las relaciones de baño ahora sinceradas por los datos de volúmenes obtenidos, que se diferencian hasta en 2,2 puntos con respecto a la relación de baño de 1/7 considerada históricamente por la planta y el sistema informático que genera las recetas automáticas.

Del mismo modo en que se realiza la obtención de datos de las autoclaves 5 y 6, se procede a conseguir la misma información de las demás máquinas. En el caso de las autoclaves es exactamente bajo la misma técnica, y en el caso de las máquinas madejeras,

se considera como cálculo geométrico, la forma del recipiente principal el cual en un caso no es cilíndrico. Al concluir este proceso que demoró varias semanas, se concluyó, que las autoclaves 5 y 6, eran las que tenían menor desviación de sus relaciones de baño (RB) con respecto a las RB consideradas por el sistema informático.

3.8.3 Cargado de parámetros al software de control de teñido.

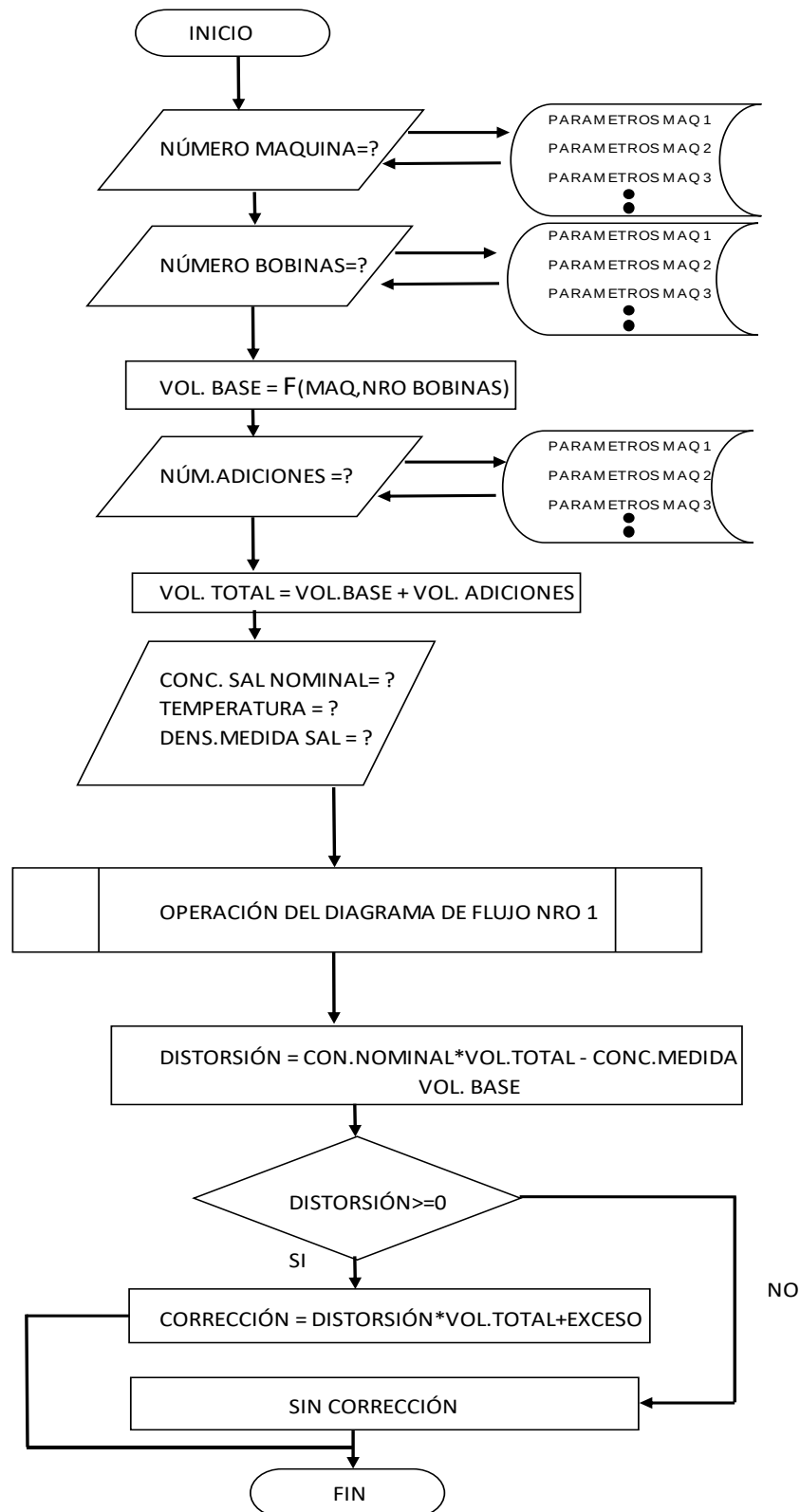
De este modo con toda la información necesaria se arma la aplicación por computadora u hoja de cálculo, que permita llevar esta información a cálculos más precisos de la gestión general de los parámetros del teñido con los colorantes reactivos, tanto para la planta como para el laboratorio, en este último es importante para predefinir la relación de baño correcta a la que se deberá desarrollar el color, ya que en el caso de las autoclaves de teñido, en general, la relación de baño la otorga la capacidad de la máquina y curva de teñido con la que se tiñe el color y todas sus adiciones.

La aplicación comprenderá dos partes, la primera, referida a los controles propios de la planta, como el control de electrolito, en el que se tiene como variables de entrada, la máquina o autoclave, el peso de la partida, la temperatura, la densidad del electrolito leída y la concentración nominal del electrolito. (En general el electrolito puede ser sal o sulfato de sodio, o ambos, en todo caso se deben cargar ambas tablas de valores, cada una integrada con su propio algoritmo de solución, y un botón de selección de alguna de ellas).

Bajo condiciones de trabajo regulares, el peso de las bobinas suele ser estandarizado, esto permite calcular el peso con una aproximación aceptable si solo se conociera el número de bobinas, en el caso de “La Colonial”, la aproximación con el peso unitario de la bobina multiplicado por el número de bobinas es aceptable, y a partir de aquí se puede predeterminar la altura de apilamiento de las bobinas y su volumen base. A continuación, se muestra un resumen del diagrama de flujo de la primera parte.

Figura 31

Diagrama de Flujo 2



Nota: Sección del diagrama de flujo que arroja el resultado de la corrección del electrolito

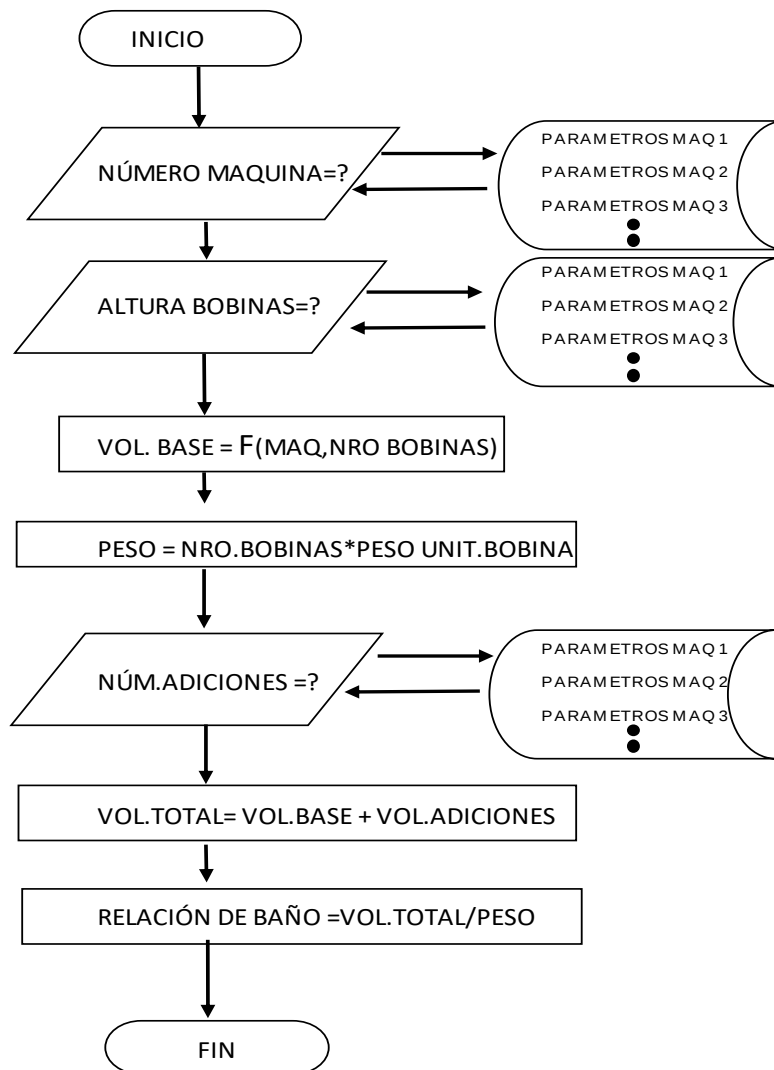
La corrección del electrolito, a partir de la medición de la densidad previa a la adición del álcali, procede por uno de los métodos anteriormente descritos, pero también se le agrega un exceso. Este valor de exceso puede depender de la concentración nominal como una proporción variable o ser establecido como un porcentaje fijo de la concentración nominal. La explicación de este exceso se basa en el hecho de que una mejor reproducibilidad siempre está ligada a un mayor rendimiento de los colorantes, y en ese sentido un exceso de electrolito da mejores probabilidades de un mayor agotamiento.

El dato del peso exacto puede ser útil para la planta, pero cuando se usa la otra parte de la aplicación, que básicamente es de mayor utilidad para el laboratorio quizás ni siquiera se cuente con él, porque se trabajará con partidas proyectadas, de las que solo se puede conocer el número de bobinas que puede contener, esto se debe a que en la generación de la corrida no se cuenta aún con el material de la partida necesariamente, el mismo que se cuenta solo poco antes de que la partida pasa al estado de programada, en esos casos solo se puede tener una aproximación, pero que es válida para conocer la relación de baño en la que se involucran los parámetros técnicos de la autoclave específica y las características de la curva de teñido que se usará en cuanto al número de adiciones, y proyectando con mejor aproximación el volumen final del teñido, y a partir de ahí la Relación de baño final, y es este dato el que será útil al laboratorio, y desarrollar las corridas de laboratorio luego de esto y no al revés, que es un uso más común pero que eventualmente puede cometerse el error de presumir una relación de baño, que puede diferir mucho, de la real, cuando se tiña la partida.

A continuación, se muestra el resumen del diagrama de flujo de la parte de la aplicación que será de uso mayormente para los coloristas de laboratorio a cargo del desarrollo de las corridas que se convertirán en recetas de planta.

Figura 32

Diagrama de Flujo 3



Nota: Sección del diagrama de flujo que arroja el resultado del volumen total y la relación de baño real

3.8.4 Establecimiento de políticas de calidad específicos.

La tintorería de La Colonial, tiñe hilados producidos en su Hilandería, además de hacer servicio de teñido de hilados. Como política de la empresa y en función de afianzar su principal característica de oferta que es su calidad de hilado, en cuanto a sus características físicas, también desea potenciar su aceptación en características de color, por lo que la aproximación del tono de la partida deberá ser mayor, para ser aprobado por el área de Control de calidad.

En los últimos tiempos, la industria de las confecciones, ha sufrido algunos cambios en su estructura general. Hasta la década antepasada, la industria textil algodonera, era constituida por las grandes empresas exportadoras, muchas de las cuales en la actualidad ya no existen u operan con otros materiales. En la actualidad la industria textil algodonera, tiene una amplia participación de talleres pequeños y medianos. Y es en función de estos nuevos clientes y eslabones de la industria actual, que las producciones actuales estan dirigidas, ya no como en el caso de las grandes exportadoras a producciones continuas de un grupo reducido de pocos colores y artículos, sino mas a bien a producciones pequeñas, casi atomizadas de muchos colores, y con pesos muy pequeños de partidas, que proceden con un uso mas amplio de las máquinas de teñido de pequeña capacidad y de las menores capacidades de las demás máquinas.

Es en este escenario, que la gestión del color, tanto en la planta como en el laboratorio, se vuelve mas compleja, debido a que obviamente, el laboratorio debe redoblar sus esfuerzos en el desarrollo y habilitación de un mayor número de colores en sus diferentes etapas, y en la planta se hace más complejo debido a que siempre es más sencillo lograr una buena repetitividad, que una buena reproducibilidad, y esto debido a que la estabilización en los porcentajes de colorantes de una receta exitosa en cualquier color, es mejor si se repite el color en varias ocasiones, pero frente a un color nuevo la probabilidad de mala reproducibilidad se incrementa. Es por ello que ante este escenario del que La Colonial, es ampliamente participe, la fábrica se ve en la necesidad de desarrollar mejoras en su gestión alrededor del desarrollo del color, que aseguren mejores herramientas ante la competencia de las demás empresas del rubro.

3.8.5 *Revisión de curvas de laboratorio vs planta.*

La otra gran variable que participa en la problemática de corregir la mala reproducibilidad en el teñido con colorantes reactivos, es la diferencia que existe entre el teñido que realizó el laboratorio en la corrida y el teñido que realiza la planta, como ya se señaló en páginas anteriores. La cantidad de colorante reactivo que reacciona

químicamente con la celulosa está muy ligada, entre otros factores, a las condiciones propias de la curva de teñido, es decir a la sumatoria de tiempos, gradientes de temperatura, tiempos de igualación y dosificación del álcali, etc.

Y como también se señaló, en el laboratorio no es posible realizar algunas operaciones que, si le es posible hacer a las máquinas de la planta como la dosificación progresiva, en la que se introducen cantidades variables a lo largo de cierto periodo de tiempo y que obedecen a una regla progresiva de incrementos controlados.

Y esto porque en general las máquinas de laboratorio no dosifican productos al interior del tubo de teñido en pleno proceso, ya que es una operación manual realizada por un operario de laboratorio, que solo podría hacer introducciones puntuales. Otra diferencia común son los tiempos reales de esperas por productos, que en general son mucho mayores en planta, incluso en plantas con potentes cocinas automáticas con envío de productos por línea.

Entonces no es posible en general, tratándose de teñidos con colorantes reactivos sobre celulosa, que la misma curva de teñido empleada para el desarrollo del color en laboratorio, sea la misma que se utilice en la planta, y justamente como ideal se debe eliminar en lo posible diferencias entre el laboratorio y la planta, pero no siempre eso es factible. Lo que se debe hacer es desarrollar equivalencias, entre ambas curvas que permitan resultados de performance de cada colorante muy similares o idealmente iguales, y cuya validez de similitud o equivalencia es un juego de prueba y ensayo.

3.8.6 *Equivalencias en tiempos.*

Los tiempos de igualación en la planta, por cuestiones de lograr una homogenización de los colorantes sobre el material, tela o hilo, suele estar entre los 20 y 30 minutos, aunque esto puede estar influenciado por factores como el empleo de subprocesos de migración a alta temperatura, o el tipo de grupo reactivo del colorante, entonces en laboratorio se puede aplicar o lo mismo o por lo menos los 20 minutos. Se puede suponer que por ser una cantidad de material pequeña la del tubo de ensayo del

laboratorio se deba emplear solo 5 o 10 minutos, pero se debe recordar que además de la igualación lo que se busca es una congruencia en los tiempos. En el caso de las dosificaciones de álcali, como ya se mencionó en el laboratorio suelen ser puntuales, mientras que en la planta son progresivas, como punto de partida, se aplican los mismos tiempos que la planta emplea en cada dosificación, con la diferencia de que en el laboratorio se emplea más de una dosificación puntual por cada progresiva de la planta.

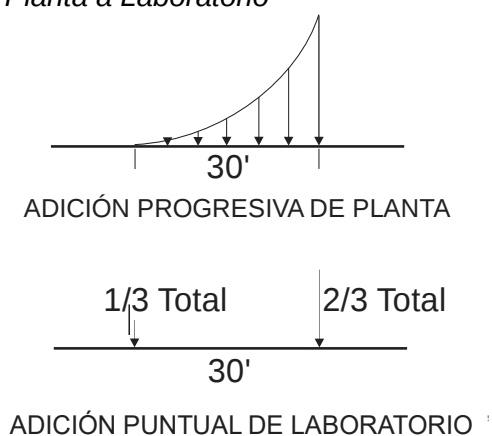
En cuanto a tiempos de fijación, deben ser los mismos, teniendo certeza de que los datos de la planta son realmente los correctos.

3.8.7 *Equivalencias en adiciones.*

Las adiciones en planta son más prolongadas que en el laboratorio, las de auxiliares o electrolito inicial, por ensayos realizados no representan mayor influencia en el resultado final. La adición de los colorantes tiene similar resultado, aunque si se debe procurar, que los tiempos de igualación sean equivalentes. Donde es particularmente crítico hacer equivalencias es en las dosificaciones de álcali, además de respetar los tiempos de dosificación, es necesario dada la diferencia entre la adición puntual del laboratorio y la progresiva de la planta, emplear por lo menos un par de adiciones puntuales por cada progresiva de la planta, agregando una fracción del total al inicio y el resto en la segunda adición, como se muestra en la figura 33:

Figura 33

Conversión de Adición de Planta a Laboratorio



Nota: Ejemplo de adaptación de una adición progresiva de planta para convertirla en adición de laboratorio

Como se aprecia en la figura 33, se reemplaza una adición progresiva de la máquina de teñido, (de un % de progresión no definido) por dos adiciones puntuales para el tubo de teñido de laboratorio, en la que la primera adición puntual es de 1/3 del total al inicio de la dosificación, y la otra, de todo el resto, 2/3 del total al final del tiempo de adición. Con la intención de definirlo de modo más específico es posible desarrollar una relación más fina entre la fracción inicial y final del total de la adición. Como en las máquinas “Brazzoli” y en otras se definen las progresiones de adición con porcentajes, entre lineal o curva 0 es decir sin progresión, hasta curva 9 o de 90%, en donde, mientras mayor sea el porcentaje, mayor es la cantidad del producto dosificado al final del proceso. Por ello, podría hacerse una fracción puntual inicial más pequeña y una final más grande en el caso de dosificaciones de mayor porcentaje, pero todo esto debe ser validado con pruebas.

3.9 Ensayos de reproducibilidad inversa.

La mala reproducibilidad de una tintorería, se refleja en la ocurrencia frecuente de eventos con partidas altamente desviadas, incluso cuando los estándares de calidad de dicha tintorería puedan no ser los más exigentes, y que se produce en los colores nuevos de reciente desarrollo, es decir aquellos en los que recién se empiezan como producción. Y son justamente estos eventos los que más información aportan, en cuanto a las razones más críticas del porqué de la mala reproducibilidad sobre todo en los colores en los que el ojo humano detecta muy sensiblemente, alguna diferencia, como es el caso de los grises, kakis, olivos, marrones o morados.

Un enfoque de este tema, de concluir con la obtención oculta de algunas razones de la mala reproducibilidad, es la de reproducir en el laboratorio, en base a corridas, el tono desviado obtenido en la planta, a lo que se denominará reproducibilidad inversa, es decir una serie de pruebas, con diferencias notables con respecto a la curva usual del laboratorio que se usó en dicho color, que se desarrolla hasta obtener el tono desviado que resultó en la planta. Ahora bien, cuando se diseñen estas diferencias en la forma de teñir, se debe iniciar siempre con una comparación cuidadosamente detallada de posibles diferencias

entre la forma de teñir de la planta y la del laboratorio, y que antes pudieran haber sido consideradas irrelevantes o insignificantes, además de identificar también un posible comportamiento irregular de alguno o más de uno de los colorantes, auxiliar o producto en general de la receta. En algunas ocasiones puede lograrse el tono desviado producido en la planta, habiendo recurrido a una diferencia grande en la forma de teñir con respecto a la curva original, y esto podría sugerir una redefinición de la curva de teñido, o algún subproceso de la forma de teñir en laboratorio.

Como se mencionó anteriormente, dada la dificultad de lograr una buena reproducibilidad en tonos grises, es recomendable que las pruebas de mejoras, en el laboratorio se hagan sobre tonos grises, con la idea de que, si se logra superar la mala reproducibilidad en estos tonos, será automática la mejora en tonalidades de menor dificultad. Sin embargo, esto no se aplica en los tonos verdes y turquesas, en estos casos las pruebas solo pueden hacerse sobre tonos originales.

3.10 Redefinición de curvas de laboratorio.

El análisis de los eventos en los que la desviación es grande, arroja generalmente buena información, acerca de las distorsiones en la forma de teñir del laboratorio con respecto a la planta. Y así, asumiendo que es más sencillo o conveniente si es necesario, modificar la forma de teñir en el laboratorio que, en la planta, las pruebas alrededor de la reproducibilidad inversa, conducen a la conveniencia de corregir las curvas del laboratorio.

Por ejemplo, el modificar las adiciones puntuales simples, a otras que imiten las adiciones progresivas, obliga a modificar las curvas de laboratorio, incluso sea cual fuese la fracción inicial y final del total de la adición es recomendable que, estas adiciones en el laboratorio, sean muy precisas, y para ayudar a los operarios del laboratorio, conviene que estas cantidades sean calculadas por una hoja de cálculo o una aplicación de computadora, y esto debido además, a que las relaciones de baño podrían ser muy variadas, como en el caso de “La Colonial”, en donde la relación de baño se puede predefinir, pero esta resulta de las condiciones de la autoclave y no del laboratorio.

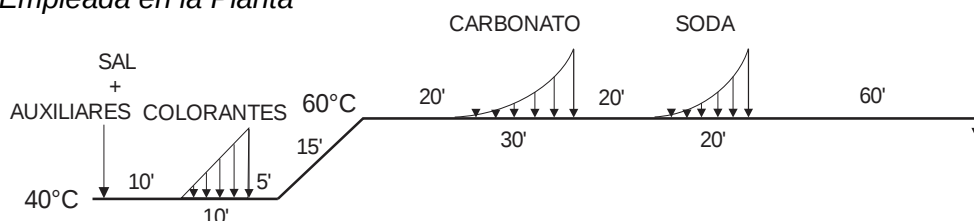
Entonces, si las relaciones de baño pueden ser muy variables, es más sencillo que las cantidades precisas del producto a adicionar, le sean proporcionadas al operario del laboratorio.

Es posible que, al redefinir las curvas de laboratorio, estas resulten de mayor consumo de tiempo que las anteriores, entonces se pueden volver a redefinir, acortando los tiempos en los subprocessos que no representen influencias críticas como la adición de auxiliares, electrolito o colorante, pero siempre haciendo las pruebas necesarias que confirmen la utilidad del cambio. Como ejemplo se menciona que, al iniciar el estudio, se percibe una mala reproducibilidad en tonalidades grises. En el plazo de dos semanas, se evalúan un total de 12 partidas de tonalidades grises, de las cuales 10 resultan con una desviación severa que las obliga a reprocesos, y 2 de ellas son aprobadas con tolerancia.

Como común denominador, en estas 12 partidas de tonos grises, todas resultaron más rojizas y naranjas con respecto a sus patrones. Se empieza analizando la curva de teñido de la planta, la que se representa del siguiente modo:

Figura 34

Curva Empleada en la Planta

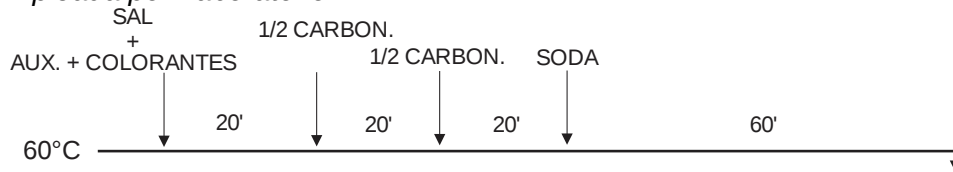


Nota: La figura 34 muestra una de las curvas empleadas por la planta con el colorante en adición lineal y los álcalis en adiciones progresivas

Luego, se procede a revisar la curva empleada por el laboratorio, para analizar las diferencias con respecto a la anterior:

Figura 35

Curva Empleada por Laboratorio



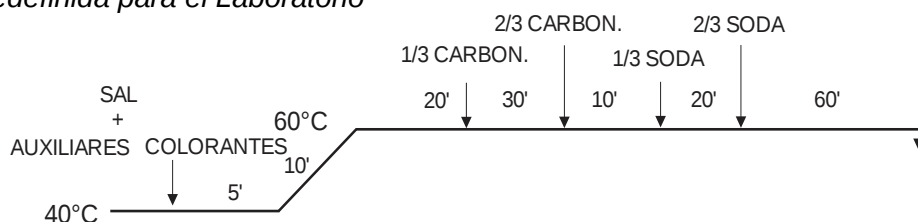
Nota: La figura 35 muestra la única curva empleada por el laboratorio empleando 4 adiciones puntuales.

Luego de comparar ambas curvas de teñido, saltan a la vista las diferencias notables en la forma de teñir que emplea el laboratorio, y la que se desarrolla en la planta. Mientras que en planta se inicia la curva a 40°C se adicionan la sal, auxiliares y colorantes por dosificación lineal (50%), y luego sube a 60°C en 15 minutos, mientras que en laboratorio se trabaja con una curva isotérmica a 60°C, con la adición conjunta de la sal, auxiliares y colorantes. La adición del carbonato en planta, procede con una adición progresiva en 30 minutos al 70% de progresión, mientras que el carbonato en laboratorio es añadido en dos partes iguales con 20 minutos entre ambas adiciones, y 20 minutos luego de las adiciones de la sal, auxiliares y colorantes. En la planta, se agrega la soda en una adición progresiva en 20 minutos a una progresión de 70%, y 20 minutos después de culminada la adición del carbonato, mientras que en laboratorio la adición de la soda procede en una sola adición puntual y 20 minutos luego de terminada la adición del carbonato. El tiempo de fijación es de 60 minutos en ambos casos.

De acuerdo a los conceptos definidos con anterioridad, estas diferencias notorias, se traducen en una de las mayores causas de la mala reproducibilidad, y por ello se define realizar pruebas de Reproducibilidad Inversa, en la que se definirá una nueva curva de laboratorio, que debe ser una aproximación a la curva de la planta. Es así como se define la siguiente curva:

Figura 36

Curva Redefinida para el Laboratorio



Nota: La figura 36 muestra la curva completa adaptada a adiciones puntuales del laboratorio

En esta curva, se establece el carácter de inicio en frío y subida a 60°C, de la curva de planta, en la que se trata de reducir los tiempos iniciales, tanto en las adiciones iniciales como en la subida a 60°C, la igualación en principio es la misma que en la curva de planta. Las adiciones de álcali en principio respetan los tiempos de la curva de planta, y se reemplazan las adiciones progresivas por adiciones partidas, en dos partes con 1/3 de adición inicial, y 2/3 de adición final. El tiempo de fijación es de 60 minutos. Las pruebas en laboratorio, resultan exitosas, la aproximación con los resultados desviados de la planta, es bastante buena. Los resultados iniciales son repetidos en laboratorio, para confirmar su validez. Redefiniendo para futuras partidas en colores grises en planta, con corridas nuevas de laboratorio teñidas con la curva redefinida para laboratorio.

3.11 Aplicación de pruebas en planta.

Con la información de las pruebas de laboratorio, se desarrollan colores grises nuevos pertenecientes a nuevas partidas, con la nueva curva de teñido de laboratorio, en la idea de que la reproducibilidad en estos colores, mejore, se hacen tres colores grises, en la que el álcali a agregar es solo carbonato, en una única adición de planta, equivalente a dos de laboratorio fraccionadas, siendo dos colores de intensidad media y uno de intensidad clara, y en los tres casos, el resultado es satisfactorio, las tres resultan aprobadas, sin ser matizadas en tintura, ni tampoco reprocesadas, aunque no son teñidas sin muestreo, es decir, no son teñidas como Baño Ciego, entendiéndose así a las partidas en las que no se les hace un muestreo, antes de drenar el baño de teñido, en estas partidas

solo se hace un control riguroso de los parámetros del proceso, pero no se interrumpe el teñido.

En “Textil San Cristóbal S.A”, en donde sí se llegó a aplicar el Baño Ciego, al 100% de las partidas, la reproducibilidad era buena y aceptable pero dentro de los términos, definidos por “Textil San Cristóbal S.A”, en la que la exigencia era menor que la de “La Colonial”, y esto probablemente debido a que mientras TSC, era productor de prendas, LC, solo produce textiles en etapas intermedias, y donde no es posible conocer la exigencia en las prendas de los clientes finales, podríamos sacar la conclusión, de que es indudable de que el criterio de aplicar el baño ciego, dependerá de las políticas y exigencias de la calidad en lo referido a la aproximación al tono del patrón, y esto a la vez, porque el teñido en baño ciego, puede producir desviaciones menores, pero que deben ser evaluadas para determinar si alcanzan para cubrir las necesidades de la exigencia de cada tintorería, sin descartar desde luego, que siempre está abierto el camino a seguir desarrollando mejoras para hacer la reproducibilidad más precisa.

Es así como, se amplía las pruebas con esta nueva curva de laboratorio, a otras dos nuevas curvas de laboratorio, en las que el álcali empleado es solo carbonato, pero en dos adiciones de planta equivalente a cuatro adiciones de laboratorio, y otra en la que se agrega como álcali, carbonato y soda, en dos adiciones para el carbonato y dos para la soda, en colores diversos, ya no solo grises, para una producción de 10 colores. El resultado es de la totalidad de partidas resultaron aprobadas, sin ser matizadas, con solo dos de ellas con una moderada desviación, pero aprobadas con tolerancia.

3.12 Revisión de datos del software de control de teñido.

En el diagrama de flujo Nro. 1 de la figura 20, cuando se calcula la corrección del electrolito, se menciona un exceso de electrolito, el cual se define como la cantidad adicional del electrolito que permitirá un mayor agotamiento, de los colorantes, en la idea de que mientras mayor sea el rendimiento de los colorantes, mejor será la reproducibilidad,

y es un hecho de que una mayor presencia de electrolito permitirá un mayor rendimiento, sin llegar a producir un tono más intenso de lo necesario.

Este exceso puede ser considerado como un porcentaje adicional de la concentración del electrolito, es decir como una razón geométrica de la concentración nominal, pero esto podría fallar en las concentraciones bajas, por ejemplo, aunque no es recomendable usar concentraciones de sal o sulfato por debajo de los 10 gr/L, a pesar de que así lo señalen las tablas de adición de los proveedores, algunas tintorerías tiñen con estas concentraciones, y lo que puede suceder es que mientras un incremento de 10% más de sal o sulfato a una concentración de 60 gr/l, asegura un agotamiento casi completo, a una concentración de solo 10gr/L representa solo 1 gr/L, que todavía está dentro del margen de error.

Ahora, el usar una cantidad fija de incremento, es decir una razón aritmética, por ejemplo 5 gr/L, podría ser insuficiente en concentraciones superiores a 80gr/L. Por ello, es recomendable usar un exceso variable que sea alto en las concentraciones bajas y menor en las concentraciones altas de electrolito.

Esto se debe determinar con el empleo continuo a lo largo de varios días, semanas o meses, que otorguen información, de acuerdo a los resultados que se vayan obteniendo en las partidas de planta. Otro aspecto que se observó, en las mediciones de electrolito, es que, en los casos de los colores negros intensos, las lecturas arrojan un déficit de electrolito, incluso luego de una segunda medición, por esta razón el exceso en estos tonos debería ser un tanto mayor. La explicación de esto podría estar en una alteración en la densidad del baño de tintura medido, producida por la presencia de una gran cantidad de colorantes en estos baños, y medida por el densímetro. Entonces se corrigió con un mayor exceso del electrolito, el aparente déficit de sal o sulfato se reflejaba también por los resultados en la intensidad de los tonos, lo que inclino a decidir por un exceso especial, mayor.

3.13 Revisión de resultados iniciales.

Luego de iniciar la implementación de algunos de los cambios en la gestión de los controles de teñido, en la planta, se recogen algunos resultados en los porcentajes de los indicadores vistos anteriormente.

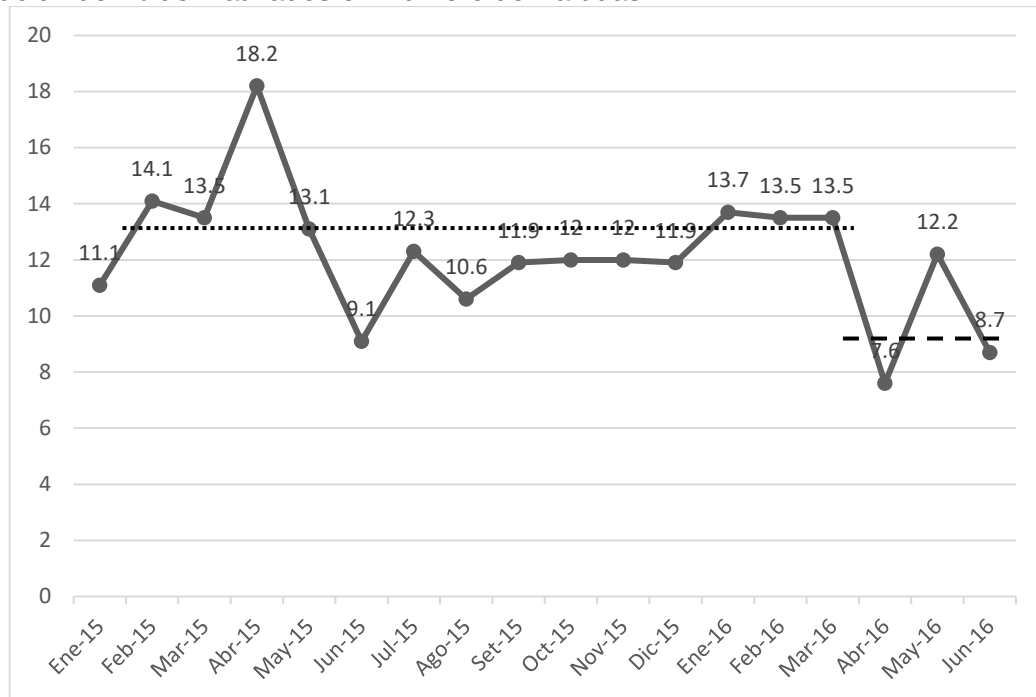
Tabla 14

Evolución del Porcentaje de Matizados en Número de Partidas

Ene-15	Feb-15	Mar-15	Abr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Ago-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dic-15
11.1	14.1	13.5	18.2	13.1	9.1	12.3	10.6	11.9	12.0	12.0	11.9
Ene-16	Feb-16	Mar-16	Abr-16	May-16	Jun-16						
13.7	13.5	13.5	7.6	12.2	8.7						

Figura 37

Evolución del % de Matizados en Número de Partidas



.....

Promedio Histórico

- - - - -

Promedio inicio del cambio

Nota: La figura 37 muestra el inicio de la aplicación con solo un 25% de partidas en los que se aplicó los cambios.

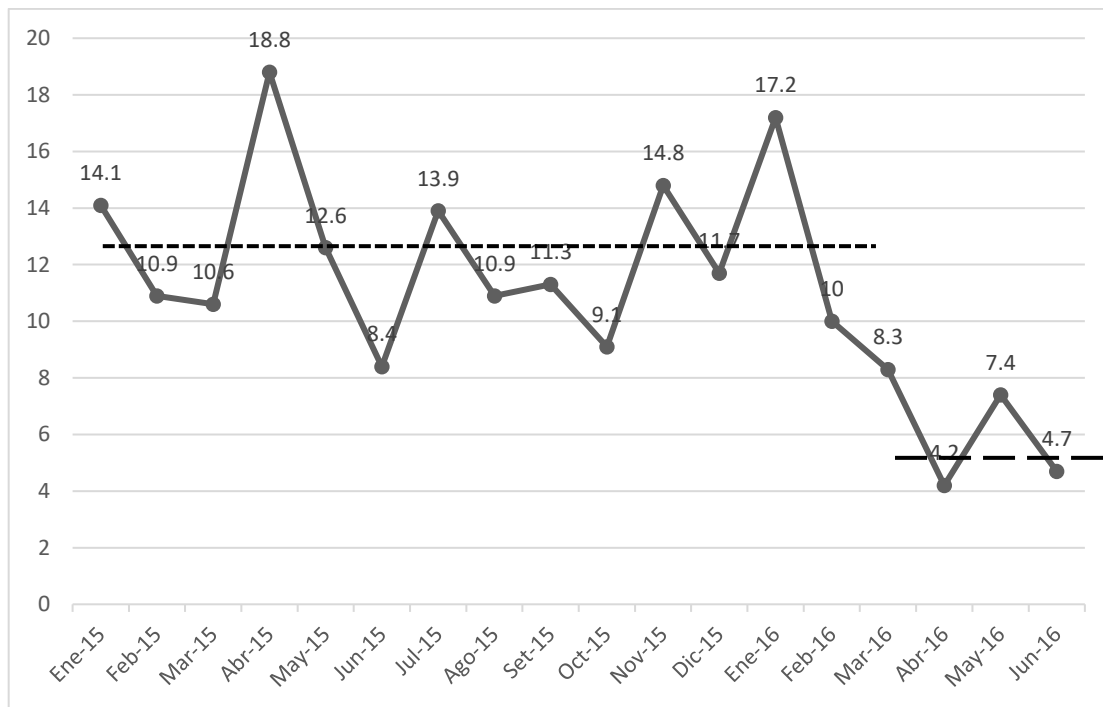
Tabla 15

Evolución del porcentaje de matizados en Peso

Ene-15	Feb-15	Mar-15	Abri-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Ago-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dic-15
14.1	10.9	10.6	18.8	12.6	8.4	13.9	10.9	11.3	9.1	14.8	11.7
Ene-16	Feb-16	Mar-16	Abr-16	May-16	Jun-16						
17.2	10.0	8.3	4.2	7.4	4.7						

Figura 38

Evolución del % de Matizados en Peso de partidas



Promedio Histórico

- - - - -

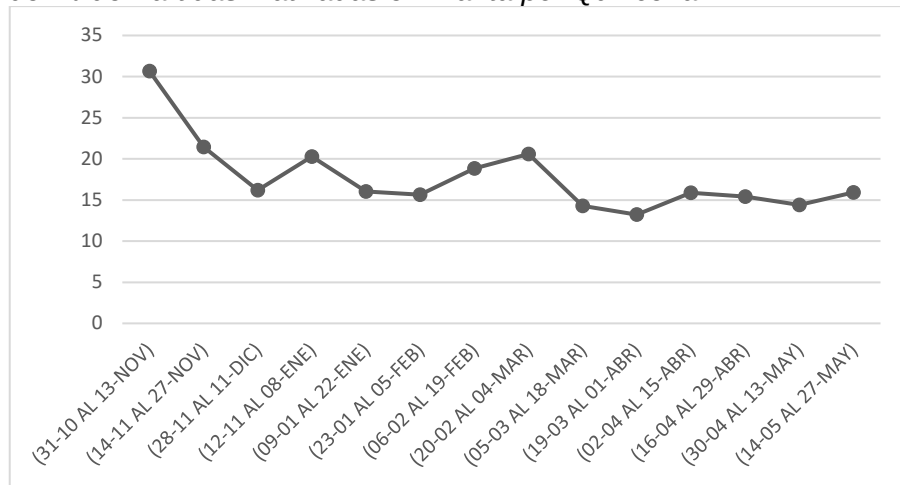
Promedio inicio del cambio

Nota: En el inicio de la aplicación con solo un 25% de partidas en los que se aplicó los cambios.

Del mismo modo, luego de implementar algunos cambios en la planta, se empiezan, con modificaciones en las curvas del laboratorio, y luego de hacerle seguimiento a los resultados, se representa la información porcentual en el siguiente gráfico, en el que se realizaban muestreos, quincenales, en un indicador del cual no se contaba con información histórica que son los Matizados en planta, y los que se empiezan a medir luego de las mejoras en el control de los procesos de planta, es decir que sin duda, eran de mayor gravedad, antes de las mejoras, solo de planta.

Figura 39

Evolución del % de Partidas Matizadas en Planta por Quincena



Nota: Cálculo del porcentaje de partidas matizadas con base en las partidas teñidas totales, calculado cada dos semanas

Capítulo IV Análisis y discusión de los resultados

Uno de los aspectos más resaltantes, que se han observado, a lo largo de varios años de trabajar de cerca la realidad de varias tintorerías, es que el tema de la reproducibilidad y la repetitividad, es un tema crítico, que genera reprocesos, atrasos, sobrecostos y hasta la pérdida de clientes, se debe a factores como:

Diferencia crítica entre los procesos de la planta y los del laboratorio, pero cuando se trata de contrarrestarla, muy rara vez se empieza por hacer una revisión de la diferencia de estos procesos, y sobre todo por no trabajar de modo coordinado con el laboratorio, adjudicándose mutuamente la responsabilidad del origen, cuando por lo general es una suma de problemas en ambos lados. Se puede mencionar errores comunes presentes, por el lado de la planta, como El desconocimiento de datos reales del proceso, como los volúmenes reales, ya que de común se trabaja con datos supuestos, o indicados por los fabricantes de las máquinas, los cuales rara vez son adaptados a la realidad propia de cada tintorería, además de un manejo no exacto de los parámetros del teñido como la concentración exacta de la concentración del electrolito, sal o sulfato, lo cual también se puede derivar de un desconocimiento de los volúmenes.

Por el lado del laboratorio, se puede mencionar que se utilizan curvas de teñido de laboratorio, que se diferencian gravemente de las empleadas por la planta, por razones como acortar los tiempos de proceso en pos de lograr hacer un mayor número de entradas, o porque la planta puede modificar sus curvas para contrarrestar algún problema propio de la planta como la mala igualación, pero este cambio no se traslada al laboratorio por considerarlo innecesario, por ello debe implementarse una rigurosa política de uso de curvas equivalentes del laboratorio y de la planta.

Sin duda, este tipo de mejoras, esta encasillada, por encima del nivel en el que se encuentra la superación de fuera de tono, originado por razones que no tienen que ver con este estudio, como los errores de gestión, errores humanos, o el uso de productos de mala performance, etc. Si en la tintorería todavía se dieran eventos de fuera de tono por alguna

de estas razones, se debe apuntar todo esfuerzo para superar primero estas causas, que por lo general suelen ser más sencillas de superar, y establecer de modo riguroso, una política permanente de cumplimiento de procedimientos precisos, y la corrección oportuna al sistema de trabajo. “Cuando sucede un error, no falla la persona, falla el sistema”. De este modo, quedarán menos variables a la solución de la ecuación. Por ejemplo, el error en el pesado de productos, típico de las cocinas manuales, o su pesado no muy preciso, podría ser una variable oculta si se busca la eficacia del control del proceso, se deberá contar con la exactitud de los valores que intervienen en él, y dentro de esta exactitud además de la eficacia de la medición de los volúmenes que realizan los equipos propios de las máquinas de teñido como los cuenta litros, se precisa de la exactitud de los productos y colorantes pesados por la cocina de colorantes. Cuando la cocina de colorantes es automática esta gran variable del problema queda resuelta, pero si no lo es, quedará como parte del problema, y no solo por el pesado de colorantes, que, al resultar sumamente crítico, recibe muy cuidadosa atención, sino también en los demás productos como la sal, y los álcalis que tradicionalmente reciben menor importancia, pero cuya influencia es primordial también.

Con respecto a este tema, en el que las tintorerías de cocinas manuales están en desventaja con respecto a las de cocina automática, es posible mejorar la eficacia de las cocinas manuales, creando un sistema de bajo costo que imite parte de lo que hacen los sistemas de cocinas automáticas.

Una de los procesos más críticos de las tintorerías, es el correcto pesado de los colorantes, auxiliares y productos químicos que intervienen. Tanto en la determinación del producto correcto como de la cantidad correcta. Al respecto las tintorerías de cocinas manuales, desarrollan diversos modos de hacerlo de modo eficaz, (algo que las cocinas automáticas ya resolvieron) pero aunque los métodos y procedimientos sean bien elaborados, estas tintorerías no se escapan a la desagradable sorpresa de reportar cada cierto tiempo una partida fuera de tono, por un error humano en el pesado de colorantes,

que es el caso más grave, o en el pesado de productos o auxiliares, tanto por identificación incorrecta, del colorante o producto como por su cantidad o por error operacional como falla en el destare del pesado del producto anterior, que produjo una distorsión en el pesado del producto siguiente. (Esto dejando de lado la causa originada por un error en la receta).

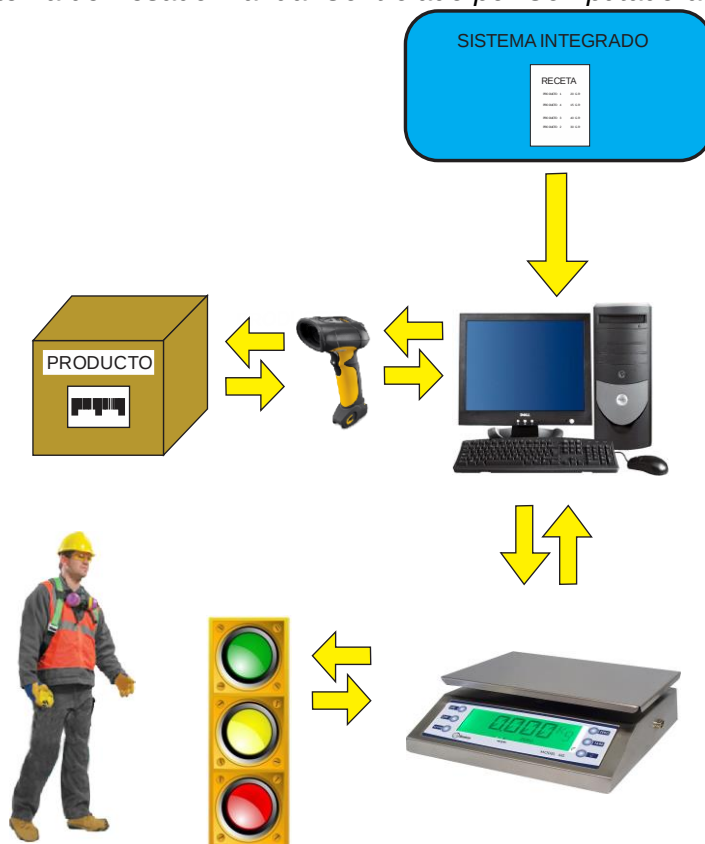
Las cocinas automáticas, que cuentan con un sistema que integra una serie de computadoras y softwares con un equipo de balanzas que intercambian información con ellas, enfocan así este tema, en primer lugar logran una correcta identificación del producto a pesar, para ello se dota primero a los envases de los colorantes y productos a pesar, una etiqueta de código de barras, la cual es leída por un lector de código de barras integrado a una computadora del sistema, que identifica de modo inequívoco el envase correcto y por ende el producto correcto, y solo con el visto bueno de esta lectura la computadora “autoriza” a la balanza a proceder con el pesado. La balanza, comunicada con una computadora la cual ya tiene ingresada la información de la receta y cantidades de productos que se deben pesar, obedece paso a paso, cada orden secuencial de la computadora, el pesado en la identificación correcta y en el peso correcto.

Esta parte concreta de los sistemas automáticos, es muy crítica, pero no imposible de imitar. Con la obtención de los elementos necesarios y contando con un juego de balanzas, capaces de desarrollar comunicación en tiempo real con una computadora, es posible crear a muy bajo costo, un sistema que permita un mucho mejor control de éste crítico tema, con respecto a los procesos totalmente manuales.

En la siguiente ilustración, se muestra el flujo de la información y de cómo opera este sistema que otorgaría un mucho mejor control a la función de pesado manual de productos y colorantes en una tintorería con una cocina manual.

Figura 40

Esquema del Sistema de Pesado Manual Controlado por Computadora



Nota: La figura 40 muestra el flujo de la información para asegurar el pesado correcto

La determinación de cuáles productos debe ser sometidos a este control y cuáles no, debe ser conclusión de un análisis detallado, debido a que mientras más precisa sea la aproximación en el peso real (es decir mientras más pequeña sea la desviación con el peso teórico) es posible que mayor sea el tiempo empleado en el pesado, y el tiempo que se mantiene ocupado al operario. Indudablemente que la importancia de los colorantes en el proceso hace que los colorantes sean imprescindibles en el control del pesado, y en la práctica el número de balanzas para tal efecto nunca es menos de una sola, es posible en algunos casos usar dos balanzas, o tres balanzas, esto dependerá en cierto modo de los pesos usuales de colorante requerido, y esto es función de la capacidad de las máquinas de teñido con las que cuente la tintorería. En cualquier caso, la computadora debe contar con tantos puertos necesarios como aparatos comunicados con ella se requieran, incluyendo la lectora de código de barras.

Lo recomendable es que el programa de computadora, que ejecute todas estas órdenes esté integrado al sistema informático que emplee la tintorería en general y la transferencia de la información de la receta sea más directa y menos manipulada, de lo contrario se requerirá que una persona se encargue de ingresar cada receta, para que las ordenes se efectúen, siguiendo cada línea de la receta.

La identificación por parte de la etiqueta de código de barras de los envases correctos que contengan el producto correcto que señala la receta, es usualmente muy eficiente, y solo se debe tener cuidado en la colocación correcta de la etiqueta de código de barras en el envase preciso. De modo tal que solo si la identificación es la correcta el programa autorizará a la balanza a que acceda con el operario a la función de pesado.

En la operación de pesado, la cantidad precisa del producto a pesar y que es la señalada por la receta, procederá con una comunicación en línea, entre la balanza y la computadora, esta última, deberá mostrar en pantalla la cantidad actualizada del peso contenido por la balanza. El proceso inicia con el reconocimiento de parte de la computadora del valor cero o valor exacto de destare al cual debe proceder la autorización al proceso de pesado. El proceso de pesado y su comparación con la cantidad nominal y cuya diferencia debe ser establecida con una aproximación técnicamente viable y solo cuando se alcance esta aproximación la computadora autorizará el proceso por concluido y autorizará el proceso del pesado del siguiente producto. Y así hasta concluir con el pesado de todos los productos definidos para el control.

Conclusiones

- ❖ A medida que se avanzaban con los estudios del trabajo investigativo, se implementó una serie de procedimientos de trabajo en la planta y en el laboratorio que buscaron el mejoramiento de la reproducibilidad y repetitividad mediante empleo y manejo de la información real de los parámetros de la partida de teñido, sincerados con datos de volúmenes obtenidos por medición de las capacidades reales de las máquinas. Del mismo modo en el laboratorio se implementaron procedimientos que inician con un análisis de los pesos y las curvas de teñido y relaciones de baño resultantes en cada lote.

Como conclusiones a los objetivos específicos mencionamos:

- ❖ Se recopiló información de la producción con hasta 14 meses previos al inicio de la aplicación de los cambios de nuestra investigación, en 3 registros estadísticos, el porcentaje del número de partidas matizadas, el porcentaje en peso de las partidas matizadas y el porcentaje de partidas matizadas vs partidas totales (sin contar los blancos). Se levanta nuevamente las estadísticas con los resultados de los cambios implementados.
- ❖ Con la información adquirida de los volúmenes reales de las máquinas, así como de los tanques de adición y sus enjuagues ingresantes, se elaboró una hoja de cálculo interactiva con las tablas de densidad de la sal y del sulfato de sodio, así como su relacionamiento con el número de adiciones de colorantes y álcalis. La hoja de cálculo determinaba, ingresando los valores nominales de la concentración del electrolito de la receta, sea sal o sulfato de sodio, el valor real de la concentración actual, así como de ser necesario la corrección del valor con adición de más electrolito o adición de agua limpia.
- ❖ Para el laboratorio se elaboró una hoja de cálculo, con los datos de los volúmenes reales de las máquinas y los volúmenes de adición, así como el número de adiciones y pesos de cada partida. La hoja de cálculo arrojaba el dato de la relación

de baño correcta y con base en este dato, el laboratorio desarrolló entradas con la relación de baño proyectada correcta.

- ❖ Los eventos de partidas cuyo resultado de fuera de tono en planta, arrojó desviaciones muy altas, fueron analizadas de modo especial. Se desarrollaron pruebas en laboratorio que condujeran bajo diversos cambios y circunstancias con respecto a la curva regular empleada en laboratorio, con el objetivo de imitar el tono desviado resultante en planta, bajo la premisa de que, si lográramos imitar el tono desviado con una ruta de ensayo de laboratorio, habríamos conseguido el modo de hacer que la ruta (curva) de laboratorio que siguiéramos tendría una buena reproducibilidad en la planta, a esto denominamos “reproducibilidad inversa”.
- ❖ Se recopiló información de las curvas de teñido empleadas en planta, las mismas que se agruparon en 3 grandes grupos, y se realizaron cambios en el modo de hacer las adiciones puntuales de álcali, con el propósito de imitar las adiciones progresivas de las máquinas de planta.

Recomendaciones

Luego de recopilar datos de este trabajo de investigación, así como otros alrededor del tema que forman parte del trabajo no documentado en el tratamiento del tema crítico de la reproducibilidad y repetitividad, de los tonos de las partidas, producto de muchos criterios en las decisiones que se toman para mejorar los resultados y de acuerdo a las conclusiones, la primera recomendación que se desliza, apunta a cuestionar en primer lugar cada elemento del proceso de teñido, enfocándolo como un conjunto, que inicia en el laboratorio y continúa en la planta, no como un proceso aislado.

Buscar las diferencias que se dan entre las actividades específicas que hace el laboratorio y las que hace la planta. Dejando de lado el habitual enfrentamiento entre ambas áreas que tratan de ver el origen del problema en el otro.

Y de ahí una segunda recomendación, si no se desarrolla la primera recomendación, puede ser hasta fútil, gastar recursos y dinero en adquirir nuevos productos, o nuevos equipos que podrían incrementar de modo notable los costos de producción, cuando las mejoras con un análisis coordinado entre todos los involucrados se darán y con inversiones imperceptibles, además de que las mejoras logradas con esfuerzo propio de los involucrados, siempre mejora las relaciones laborales y enriquece sus experiencias profesionales.

Bajo la perspectiva de asumir cambios en las actividades tanto del laboratorio como de la planta, en pro de mejorar los resultados en los tonos, es siempre recomendable que el área encargada de la evaluación de los resultados que es el área de Control de calidad, al menos por un buen tiempo mantenga sus estándares de evaluación, y que no suba en primera instancia sus exigencias, porque ello podría, desestabilizar la información objetiva en la elaboración de indicadores que lleven este tema. El área de control de calidad, podría aprovecharse de estas mejoras para mejorar su nivel de aceptación frente a los clientes, lo cual indudablemente es beneficioso para todos los involucrados, pero si mantiene un rango usual de rechazos y por ende se mantiene un rango usual de reprocesos, los indicadores

arrojarán que los cambios no resultaron beneficiosos, cuando en realidad las mejoras si se dieron, pero fueron aprovechadas por el área de control de calidad. Es por ello que esta elevación de la exigencia del área de Control de calidad debe ser posterior y gradual.

Referencias Bibliográficas

- Amarasekara, A. H. (2012). *Mejora de la reproducibilidad del color en la producción por lotes de tejidos de algodón en jerey simple con teñido reactivo*. Tesis de maestría en ciencias, Universidad de Moratuwa Sri Lanka, Departamento de Tecnología textil y de Confección, Moratuwa Sri Lanka.
- Asociación argentina de químicos y coloristas, t. (2008). *www.aaqct.org.ar/historia.html*.
Fuente: <http://aaqct.org.ar/historia.html>
- Berger, R. R. (2005). *Teñido con colorantes reactivos con mejora en la afinidad y la fijación*. Tesis de maestría en Ciencias, Universidad del estado de Carolina del Norte, North Caroline.
- Borneman, J.; Mock, Gary. (2003). Brazzoli introduce para la tintura el sistema innodye. *Textiles Panamericanos*, 5ta edición. Acceso en Diciembre de 2016
- Cagnazzi, D., & Ferrari, L. (2002). Tecnología Multiflow. *Textiles Panamericanos*, 100. Acceso en Diciembre de 2016
- Cartilla de seguridad, L. (10 de 2014). Cartillas de seguridad.
- Cegarra Sanchez, J. (1980). *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Barcelona. Acceso en 2016
- Cegarra Sanchez, J. (1990). *Fundamentos de la maquinaria de tintorería*. Tarrasa, Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya. Acceso en Noviembre de 2016
- CHT, S. (04 de 2013). *https://www.cht.com/cht/web.nsf/id/pa_es_startseite.html*. Fuente: https://www.cht.com/cht/web.nsf/id/pa_es_startseite.html:
https://www.cht.com/cht/web.nsf/id/pa_es_startseite.html
- Colonial, L. (01 de 06 de 2013). INF. Laboratorio. Lima, Peru.
- Costa, M. R. (2010). *Las fibras textiles y su tintura*. Lima, Perú: APTT. Acceso en Febrero de 2017

- Hildebarnt, D., & Hoffmann, F. (1993). Reproducibilidad de laboratorio a planta en procesos de teñido por agotamiento. EEUU: Asociacion de Quimicos y Coloristas Textiles.
- Himmelblau, D. (1996). *Principios y cálculos basicos de ingeniería química*. Juarez, Mexico: Prentice Hall Hispana.
- <http://www.lorisbellini.com/es/news/giornale-ingegnere/>. (01 de 11 de 2014).
<http://www.lorisbellini.com>. Fonte: <http://www.lorisbellini.com>:
<http://www.lorisbellini.com/es/news/giornale-ingegnere/>
- Hussain, T. (2002). Textile Engineering. Em N. T. Faisalabad (Ed.). Faisalabad: National Textile University Faisalabad.
- IJEMS, I. J. (06 de 2013). <https://www.ripublication.com/ijems.htm>. Fonte:
<https://www.ripublication.com/ijems.htm>: <https://www.ripublication.com/ijems.htm>
- Martinez Figueroa, M. (Diciembre de 1997). Uso eficiente en el teñido de telas de poliester-algodón. Monterrey, Mexico: Instituto tecnológico de estudios superiores de Monterrey.
- onereel. (2012). www.cable-spool.com/plastic-yarn-winding-cone-and-tubes.html. Fonte:
www.cable-spool.com/plastic-yarn-winding-cone-and-tubes.html.
- Öztürk, M. (2011). *Optimización del teñido de fibra de algodón con sistema de monitoreo en tiempo real*. Tesis de maestría en Ciencias, Universidad Técnica de Estambul, Escuela de Ciencias, Ingeniería y Tecnología, Estambul.
- Pakistan Textile, j. (Abril de 2003). <http://ptj.com.pk/Web%202003/4-2003/files/exhb-prof.htm>. Fonte: <http://ptj.com.pk/Web%202003/4-2003/files/exhb-prof.htm>:
<http://ptj.com.pk/Web%202003/4-2003/files/exhb-prof.htm>
- Polyall/Plásticosl. (06 de 2015). <http://polyall.com.br/es/produtos/beneficiamento-tinturaria/cone-e-cilindro-para-tinturaria-de-fios-descartavel>. Fonte:
<http://polyall.com.br/es/produtos/beneficiamento-tinturaria/cone-e-cilindro-para-tinturaria-de-fios-descartavel>

tinturaria-de-fios-descartavel: <http://polyall.com.br/es/productos/beneficiamiento-tinturaria/cone-e-cilindro-para-tinturaria-de-fios-descartavel>

Revilla, R. (2012). Tricomia Ideal. Em D. S.A (Ed.), *Triomia Ideal*. Lima: Dystar S.A.

Robbins, T. (2010). *Poder sin limites*. EEUU.

Robert, P. (1986). *Biblioteca del ingeniero quimico*. Asturias España: Mc Graw Hill Edición en español.

Sirbu, F. (2009). *ResearchGate*.

Textil San Cristóbal. (11 de 05 de 2008). Base de datos. Lima, Lima, Peru.

Trotman, R. (1970). *Dyeing and chemical technology of textiles fibres*. Londres, Reino Unido: Charles g. & Company Ltd. Acesso em 2017

Anexos.

Tabla 16

Tabla de Densidad del Cloruro de Sodio: Concentración (g/L) vs Temperatura(°C)

gr/L	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C	80°C
1	1.001	0.999	0.997	0.995	0.993	0.991	0.988	0.986	0.984	0.982	0.980	0.978	0.975
3	1.002	1.000	0.998	0.996	0.994	0.992	0.990	0.988	0.985	0.984	0.982	0.980	0.977
5	1.003	1.001	0.999	0.997	0.995	0.994	0.991	0.989	0.987	0.985	0.983	0.981	0.978
10	1.007	1.005	1.003	1.001	0.999	0.997	0.994	0.992	0.990	0.988	0.986	0.984	0.982
15	1.010	1.008	1.006	1.004	1.002	1.000	0.997	0.995	0.993	0.991	0.989	0.987	0.985
20	1.013	1.011	1.009	1.007	1.006	1.004	1.001	0.999	0.997	0.995	0.993	0.981	0.988
25	1.017	1.015	1.013	1.011	1.009	1.007	1.004	1.002	1.000	0.998	0.996	0.994	0.992
30	1.020	1.018	1.016	1.014	1.012	1.010	1.007	1.005	1.003	1.001	0.999	0.997	0.995
35	1.023	1.021	1.019	1.017	1.015	1.013	1.010	1.008	1.006	1.004	1.002	1.000	0.998
40	1.027	1.025	1.023	1.021	1.019	1.017	1.014	1.012	1.010	1.008	1.006	1.004	1.002
45	1.030	1.028	1.026	1.024	1.022	1.020	1.017	1.015	1.013	1.011	1.009	1.007	1.005
50	1.033	1.031	1.029	1.027	1.025	1.023	1.020	1.018	1.016	1.014	1.012	1.010	1.008
55	1.037	1.035	1.033	1.031	1.028	1.025	1.023	1.021	1.019	1.017	1.015	1.014	1.012
60	1.040	1.038	1.036	1.034	1.032	1.030	1.027	1.025	1.023	1.021	1.018	1.017	1.015
65	1.043	1.042	1.039	1.037	1.035	1.033	1.030	1.028	1.026	1.024	1.022	1.020	1.018
70	1.047	1.046	1.043	1.041	1.038	1.036	1.033	1.031	1.029	1.027	1.025	1.024	1.022
75	1.050	1.048	1.046	1.044	1.041	1.039	1.036	1.034	1.032	1.030	1.028	1.027	1.025
80	1.053	1.051	1.049	1.047	1.045	1.043	1.040	1.038	1.036	1.034	1.032	1.030	1.028
85	1.057	1.055	1.053	1.051	1.048	1.046	1.043	1.041	1.039	1.037	1.035	1.034	1.032
90	1.060	1.058	1.056	1.054	1.051	1.049	1.046	1.044	1.042	1.040	1.038	1.037	1.035
95	1.063	1.061	1.059	1.057	1.054	1.052	1.049	1.047	1.045	1.043	1.041	1.040	1.038
100	1.067	1.065	1.063	1.061	1.058	1.056	1.053	1.051	1.049	1.047	1.045	1.044	1.042

Nota: Robert, 1986.

Tabla 17

Tabla de Densidad del Sulfato de Sodio: Concentración (g/L) vs Temperatura (°C)													
gr/L	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C	80°C
1	1.001	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.990	0.988	0.986	0.982	0.979	0.977	0.975
3	1.002	1.000	0.999	0.997	0.995	0.993	0.991	0.989	0.987	0.983	0.980	0.978	0.976
5	1.004	1.002	1.001	0.999	0.997	0.995	0.993	0.991	0.989	0.985	0.982	0.980	0.978
6	1.005	1.003	1.002	1.000	0.998	0.996	0.994	0.992	0.990	0.986	0.983	0.981	0.979
7	1.006	1.004	1.003	1.001	0.999	0.997	0.995	0.993	0.991	0.987	0.984	0.982	0.98
8	1.006	1.004	1.003	1.001	0.999	0.997	0.995	0.994	0.991	0.987	0.984	0.982	0.980
9	1.007	1.005	1.004	1.002	1.000	0.998	0.995	0.995	0.992	0.988	0.985	0.983	0.981
10	1.008	1.006	1.005	1.003	1.001	0.999	0.997	0.996	0.993	0.989	0.986	0.984	0.982
11	1.009	1.007	1.006	1.004	1.002	1.000	0.998	0.997	0.994	0.990	0.987	0.985	0.983
12	1.01	1.008	1.007	1.005	1.003	1.001	0.999	0.997	0.995	0.991	0.988	0.986	0.984
13	1.011	1.009	1.008	1.005	1.003	1.002	0.999	0.998	0.995	0.992	0.989	0.987	0.985
14	1.012	1.010	1.009	1.006	1.004	1.003	1.000	0.999	0.996	0.993	0.990	0.988	0.986
15	1.013	1.011	1.010	1.007	1.005	1.004	1.001	0.999	0.997	0.994	0.991	0.989	0.987
16	1.014	1.012	1.011	1.008	1.006	1.004	1.002	1.000	0.998	0.995	0.992	0.990	0.988
17	1.014	1.012	1.011	1.008	1.006	1.006	1.002	1.000	1.000	0.995	0.992	0.990	0.988
18	1.015	1.013	1.012	1.010	1.008	1.007	1.004	1.002	1.001	0.997	0.994	0.992	0.990
19	1.016	1.014	1.013	1.011	1.009	1.008	1.005	1.003	1.002	0.997	0.994	0.992	0.990
20	1.017	1.015	1.014	1.012	1.010	1.009	1.006	1.004	1.003	0.998	0.995	0.993	0.991
21	1.018	1.016	1.015	1.013	1.011	1.010	1.007	1.005	1.004	0.999	0.996	0.994	0.992
22	1.019	1.017	1.016	1.014	1.012	1.010	1.008	1.006	1.004	1.000	0.997	0.995	0.993
23	1.019	1.018	1.016	1.014	1.012	1.011	1.008	1.006	1.005	1.000	0.997	0.995	0.993
24	1.02	1.019	1.017	1.015	1.013	1.012	1.009	1.007	1.006	1.009	0.998	0.996	0.994
25	1.021	1.02	1.018	1.016	1.014	1.013	1.010	1.008	1.007	1.010	0.999	0.997	0.995
26	1.022	1.021	1.019	1.017	1.015	1.014	1.011	1.009	1.008	1.014	1.000	0.998	0.996
27	1.023	1.021	1.020	1.018	1.016	1.014	1.012	1.010	1.008	1.019	1.001	0.999	0.997
28	1.023	1.022	1.020	1.018	1.016	1.015	1.012	1.010	1.009	1.023	1.001	0.999	0.997
29	1.024	1.023	1.021	1.019	1.017	1.016	1.013	1.011	1.000	1.027	1.002	1.000	0.998
30	1.025	1.024	1.022	1.020	1.018	1.017	1.014	1.012	1.011	1.031	1.003	1.001	0.999
31	1.026	1.025	1.023	1.021	1.019	1.018	1.015	1.013	1.012	1.035	1.004	1.002	= 1.0

32	1.027	1.026	1.024	1.022	1.020	1.018	1.016	1.014	1.012	1.039	1.005	1.003	1.001
33	1.027	1.027	1.024	1.022	1.020	1.019	1.017	1.014	1.013	1.044	1.006	1.003	1.001
34	1.028	1.031	1.025	1.023	1.021	1.020	1.018	1.015	1.014	1.014	1.007	1.004	1.002
35	1.029	1.036	1.026	1.024	1.022	1.025	1.023	1.016	1.019	1.019	1.011	1.005	1.003
40	1.033	1.040	1.031	1.029	1.027	1.029	1.027	1.021	1.023	1.023	1.016	1.009	1.007
45	1.037	1.044	1.035	1.033	1.031	1.033	1.031	1.025	1.027	1.027	1.020	1.014	1.012
50	1.041	1.048	1.039	1.037	1.035	1.033	1.035	1.029	1.031	1.031	1.024	1.018	1.016
55	1.045	1.052	1.043	1.041	1.039	1.037	1.040	1.033	1.036	1.036	1.028	1.022	1.020
60	1.05	1.056	1.047	1.046	1.044	1.042	1.044	1.038	1.04	1.040	1.032	1.026	1.024
65	1.05	1.061	1.051	1.050	1.048	1.046	1.048	1.042	1.044	1.044	1.036	1.030	1.028
70	1.058	1.065	1.055	1.054	1.052	1.050	1.052	1.046	1.048	1.048	1.041	1.034	1.032
75	1.062	1.069	1.060	1.058	1.056	1.054	1.057	1.050	1.053	1.052	1.045	1.039	1.037
80	1.066	1.073	1.064	1.063	1.061	1.059	1.061	1.055	1.057	1.056	1.049	1.043	1.041
85	1.071	1.077	1.068	1.067	1.065	1.063	1.065	1.059	1.061	1.060	1.053	1.047	1.045
90	1.075	1.075	1.072	1.071	1.069	1.067	1.069	1.063	1.065	1.064	1.057	1.051	1.049
95	1.079	1.079	1.076	1.075	1.073	1.071	1.074	1.067	1.070	1.069	1.061	1.055	1.053
100	1.083	1.081	1.080	1.080	1.078	1.076	1.078	1.072	1.074	1.073	1.066	1.059	1.057
105	1.088	1.086	1.085	1.084	1.082	1.080	1.082	1.076	1.078	1.077	1.070	1.064	1.062
110	1.093	1.090	1.089	1.088	1.086	1.084	1.086	1.08	1.082	1.081	1.074	1.068	1.066
115	1.097	1.094	1.093	1.092	1.090	1.088	1.091	1.084	1.087	1.085	1.078	1.072	1.070

Nota: Sirbu, 2009.