

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INFLUENCIA DE LA DUREZA DEL AGUA EN LOS PROCESOS DE ACABADO DE LA INDUSTRIA TEXTIL

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Córdoba B. Jesús E.
Díaz A. Norelis A.
Para optar al Título de
Ingeniero Químico

Caracas, 2006

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INFLUENCIA DE LA DUREZA DEL AGUA EN LOS PROCESOS DE ACABADO DE LA INDUSTRIA TEXTIL

TUTOR ACADÉMICO: Prof. María E. Rincones

TUTOR INDUSTRIAL: Lic. José Luís Pacheco

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Córdoba B. Jesús E.
Díaz A. Norelis A.
Para optar al Título de
Ingeniero Químico

Caracas, 2006

Caracas, Agosto de 2006

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Córdoba B. Jesús E. y Díaz A. Norelis A., titulado:

“Influencia de la dureza del agua en los procesos de acabado de la industria textil”

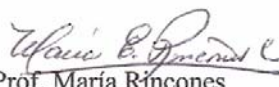
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.



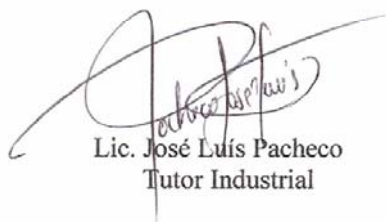
Prof. Aimee Ramos
Jurado



Prof. Johnry Vásquez
Jurado



Prof. María Rincónes
Tutor Académico



Lic. José Luis Pacheco
Tutor Industrial



Facultad de Ingeniería



Universidad Central de Venezuela

ACTA MENCIÓN HONORÍFICA

Los abajo firmantes, miembros del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado de los Bachilleres: **CÓRDOBA B, Jesús E. CI: 15.074.404** y **DÍAZ A, Norelis A. CI: 15.821.226**, cuyo título es **"INFLUENCIA DE LA DUREZA DEL AGUA EN LOS PROCESOS DE ACABADO DE LA INDUSTRIA TEXTIL"** queremos dejar constancia del nivel del trabajo realizado, ya que el mismo en cuanto a su ejecución, presentación y utilidad de los resultados ameritó que se le asignara la nota máxima obtenible en estos casos: **Veinte puntos (20)**. Así mismo, hemos decidido concederle **Mención Honorífica** como un reconocimiento a la excelencia del trabajo realizado, cuyo principal aporte consiste en la definición de los requerimientos de calidad de agua en los procesos de acabado de la industria textil, así como la metodología para la evaluación de los mismos.

Dado en Caracas, a los dos días del mes de agosto del año dos mil seis,

Prof. Aimee Ramos
Jurado Principal

Prof. Johnny Vásquez
Jurado Principal

Prof. Ma. Esperanza Rincones
Tutor Académico

A mi padre.

Me enseñó que cada fracaso supone un capítulo más en la historia de nuestra vida y una lección que nos ayuda a crecer y nos impulsa hacia nuestras metas:

“No te dejes desanimar por los fracasos. Aprende de ellos, y sigue adelante”.

Mi triunfo es tuyo PAPÁ.

Norelis A. Díaz A.

A mi Dios

A mi familia

A mi novia y mis amigos

Jesús E. Córdoba B.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi eterno compañero, quien me regalo un cuerpo lleno de vida para luchar y lograr mis sueños. Por darme fuerza y sabiduría en todo momento y por no abandonarme en los momentos más difíciles. Gracias Señor.

A mi papá, ejemplo de trabajo, constancia y valentía, trabajaste sin cesar para hacer de tus hijos hombres y mujeres de bien, hoy te doy las gracias en nombre de todos y retribuyo tu esfuerzo con este logro. “Los recuerdos construyen un camino que llega hasta el corazón y logra que te sienta muy cerca, aunque en realidad estemos muy lejos el uno del otro” Te extraño.

A mi madre, por el amor que me entrega cada día, por su dedicación y entrega a la vida, por todas las oraciones hizo en mi nombre, por enseñarme que nada es imposible si se lucha con el corazón. Sin ti no lo hubiese logrado. Te amo mami.

A la Universidad Central de Venezuela, por abrirme sus puertas, brindarme conocimientos de vida y darme un espacio para cumplir este sueño.

A mis hermanos, por todo el apoyo, los consejos y el cariño brindado, por ser mi ejemplo a seguir. De ustedes aprendí que no todos somos iguales pero que podemos entendernos, me mostraron el significado de la palabra FAMILIA. No imagino la vida sin alguno de ustedes. Nery, gracias por tratarme como una hija y siempre brindarme esas sabias palabras de aliento.

Gracias hermanos por no defraudar a nuestros padres, por colmarlos de tantas satisfacciones, por ser incondicionales, por mantenerse unidos a pesar de las diferencias. Estoy orgullosa de todos y cada uno de ustedes. Gracias de todo corazón.

A todos mis sobrinos, la luz de este camino, a ustedes muchas gracias por regalarme su sonrisa y por permitirme gozar siempre de la inocencia de la niñez. Los adoro.

A Jesús; mi compañero de lucha, por todo el ánimo, la fe y las ganas que le pusiste al proyecto, por demostrarme que en la unión realmente está la fuerza y que para triunfar en la vida, no es importante llegar primero, simplemente hay que llegar. Gracias por estar conmigo en los buenos momentos y por no dejarme caer en los difíciles. La vida contigo la disfruto más. Juntos alcanzamos uno de nuestros sueños.

A mi tutora, ejemplo de objetividad, profesionalismo y humanidad. Por su dedicación al proyecto, por creer en nosotros desde el primer día, por no dejarnos ante las dificultades y acompañarnos a superar los obstáculos. Gracias Prof. por enseñarnos que la paciencia es un árbol de raíz amarga pero de frutos muy dulces.

A mis amigos: Jhonny, Ronald, José Luís, Daniela y Omar, gracias por los buenos momentos dentro y fuera de la universidad. Ustedes son otro de mis logros.

A mi amigas Issarly, Maria del Mar y Hazel, por todo el cariño, el apoyo y la compañía durante mi estadía en la universidad. Ustedes merecen más que el éxito porque son mujeres emprendedoras y valientes. Son lo máximo chicas.

A la C.A Telares de Palo Grande, por permitirme desarrollar este proyecto en sus instalaciones. Por brindarme el respeto, la atención y por permitirme iniciar mi rol profesional.

A los operarios, técnicos, supervisores y personal administrativo de T.P.G. por la colaboración en todo momento. Especialmente a Fernando, al Sr. Molina, a Karelin, a Margarito, a Elio y a José Luís de quienes aprendí mucho en el ámbito profesional y personal. Gracias por ser esa mano amiga en la empresa.

A la familia Córdoba Blanco, por sus consejos, oraciones y la confianza demostrada.

Finalmente muchas gracias a todos aquellos que estuvieron atentos a la culminación de este sueño y que de alguna u otra forma me brindaron su ayuda. Mil Gracias.

Norelis A. Díaz A.

A mi Dios por ser la fuente de la vida, el guía y mi ayudador en momentos difíciles, gracias por escuchar mis peticiones, por hacerme fuerte ante todo, capaz de resolver con paciencia y esfuerzo los problemas a los que me he enfrentado, acompañándome a todos lados sin dejarme ir mas allá de donde no pueda regresar.

A mi madre por ser infinitamente amorosa, su sonrisa ha refrescado siempre mi espíritu del estrés y las cosas negativas que diariamente recibimos, esa actitud positiva me ha enseñado mucho, que no es sólo las obligaciones y deberes, sino que también se puede disfrutar la vida.

A mi papá que ha sido mi ejemplo de trabajo, responsabilidad y esfuerzo, ha sido sin duda el soporte para llegar a este logro. Sin él esto no hubiera sido tan posible y por ello le agradezco que haya estado allí, justo cuando más lo he necesitado. Creo que le puedes atribuir a tu vida un éxito, nosotros que no te defraudaremos.

A mi hermano por ser mi compañía constante. Juntos hemos sido invencibles a todo lo que hemos pasado. Nos corresponde ahora seguir adelante para lograr lo que ambos soñamos.

A mi novia y compañera por haber estado allí, por brindarme su cariño incondicional, por despertar mi espíritu luchador, por compartir sus ideales conmigo, por darme tanto momentos felices, por cuidarme, por apoyarme, por dedicarse hacia mí. Estoy

seguro que podemos construir muchas cosas; te amo, y extendiendo mi cariño a tu familia por la amabilidad con que me abrieron las puertas de sus casas.

A la Universidad Central de Venezuela por darme un lugar y la oportunidad de cumplir mis metas. A mi tutora (Prof. Maria Rincones) por apoyarnos y jamás darnos la espalda, por creer en nosotros y hacernos sentir que sí podemos no importa cuán difícil sea.

A mis amigos (Júnior, Kleiver, Daniela, Luís, Jhonny, Ronald, Conde, Omar y José Luís) por hacer de mi vida universitaria un recorrido agradable, por apoyarme y compartir buenos momentos. A los compañeros de trabajo (Fernando, Karelin, Sr. Molina, Ing. Elio, Margarito y sus colaboradores) por brindarnos su apoyo, sus conocimientos y su esfuerzo para lograr darle forma a este proyecto.

Jesús E. Córdoba B.

Córdoba B. Jesús E.

Díaz A. Norelis A.

**“INFLUENCIA DE LA DUREZA DEL AGUA EN LOS PROCESOS DE
ACABADO DE LA INDUSTRIA TEXTIL”**

Tutor Académico: Prof. María Rincones. Tutor Industrial: Lic. José Pacheco.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Año 2006, 193 p.

Palabras claves: tratamiento de aguas, textiles de algodón, acabado textil.

Resumen. La C.A Telares de Palo Grande es una planta industrial de producción textil, creadora de la marca comercial *Ama de Casa*. El proceso textil se lleva a cabo en dos etapas: los procesos secos de hilatura y tejido y los procesos húmedos de acabado.

En la planta de acabado, se producen al año más de 20.000 unidades defectuosas y se presume que el agua de proceso tiene una influencia importante en el producto terminado, por ello los principales parámetros físico-químicos: alcalinidad, pH, dureza, turbiedad, hierro y manganeso deben permanecer en niveles controlados.

Dentro de la bibliografía todos los parámetros, excepto la dureza, presentan niveles de tolerancia definidos. Como alternativa, la empresa propone analizar el impacto de la dureza del agua en las etapas de acabado: descrude y teñido de hilos, blanqueo y teñidos de tejidos, así como en la producción de toallas blancas, determinando él o los valores de dureza que favorezcan a cada uno de ellas; mas aún, busca lograr reproducir estas características del agua mediante cambios tecnológicos en la planta de tratamiento de agua industrial.

Para lograr el objetivo, una vez conocido el proceso industrial y el rango de dureza a abarcar (a partir de la caracterización de las fuentes de abastecimiento de agua) se estableció un programa de muestreo representativo, donde los procesos de acabado fueron ensayados a escala de laboratorio bajo dureza de: 0, 40, 80, 120 y 240 mg/l y el producto de estas pruebas fue evaluado según normas de control de calidad textil.

El análisis físico-químico a las fuentes de abastecimiento del agua permitió comprobar que parámetros como alcalinidad, pH, hierro, manganeso y turbiedad se encuentran en los rangos permitidos. Se determinó que la dureza del agua

efectivamente, influía en todos los procesos de acabado estudiados a excepción del teñido por agotamiento. Se concluyó que la dureza más apropiada en el agua de proceso es de 40 mg/l. Con dicho nivel de dureza se estudió la posibilidad de reducir el contenido de secuestrante adicionado a la fórmula del proceso de blanqueo, estableciendo que se puede disminuir en 50%, logrando un beneficio económico de 60.191.629 Bs./año

Se realizó un levantamiento de las condiciones actuales de la planta de tratamiento determinando que el 80% no cuenta con instrumentos de medición y que el sistema de suavización se encuentra mal diseñado. La resina catiónica tiene una eficiencia de intercambio iónico de 39%, está contaminada con hierro y con un porcentaje de esfericidad de 80%, lo cual evidencia la necesidad del reemplazo inmediato del sistema actual.

Se propone establecer un sistema de dos suavizadores para obtener el agua bajo el nivel de dureza establecido en este estudio, esta propuesta supone un ahorro de regenerante respecto al sistema actual y un aumento de las ganancias como resultado de la obtención de un producto de primera calidad. El valor presente de esta alternativa es de 81.779.930 Bs, recuperándose la inversión al tercer año del proyecto. Finalmente, como mecanismo de control para el mantenimiento de la calidad del agua se creó un manual de operaciones técnicas y se propone el desarrollo de un laboratorio de aguas.

INDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS	xvii
LISTA DE FIGURAS	xx
GLOSARIO	xxiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1. Planteamiento del problema.....	3
2. Antecedentes	5
3. Objetivos	7
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	8
1. El proceso textil	8
1.1. Blanqueo	10
1.2. Tintura.....	12
1.2.1. Colorantes tina	14
1.2.2. Colorantes reactivos.....	15
1.2.3. Blanqueadores ópticos	16
1.2.4. Proceso de tintura de textiles.....	17
1.2.4.1. Tintura por agotamiento.....	17
1.2.4.2. Tintura por fulardado	18
2. Calidad textil	20
2.1. Solidez.....	20
2.2. Resistencia a la tensión	21
2.3. Contenido de almidón	22
2.4. Hidrofilidad de un tejido	22
2.5. Contenido de dureza en la tela	22
2.6. Grado de blanco	23
2.7. Valoración del color.....	23
3. Calidad del agua en la industria textil.....	24

3.1. Procesos de tratamiento para la obtención de agua industrial.....	25
3.1.1. Filtros	25
3.1.2. Suavizadores	27
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL	31
1. Descripción del proceso de producción de agua industrial	31
2. Descripción del proceso de planta de acabado.....	36
2.1. Descrude de hilos	36
2.2. Teñido de hilos	37
2.3. Blanqueo de tejidos.....	40
2.4. Producción de toallas blancas (blanco-blanco)	42
2.5. Proceso de teñido continuo	45
2.6. Proceso de teñido semi-continuo	50
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO	52
1. Revisión bibliográfica	52
2. Evaluación del proceso industrial y elaboración de diagramas de proceso	52
3. Impacto de las características físico-químicas del agua en las etapas del proceso de acabado	53
3.1. Caracterización físico-química de las fuentes de abastecimiento de agua... 53	
3.2. Análisis de los efectos de la dureza en la calidad del producto	54
3.2.1. Hilos	57
3.2.1.1. Descrude.....	58
3.2.1.2. Teñido de hilos	59
3.2.2. Tejido	61
3.2.2.1. Blanqueo	63
3.2.2.2. Blanco-Blanco.....	64
3.2.2.3. Teñido semi-continuo.....	66
3.2.2.4. Teñido continuo	67
3.2.2.5. Teñido por agotamiento	69
4. Propuestas, acciones y mecanismos de control.....	71
4.1. Reformulación del proceso de blanqueo	71

4.2. Evaluación y propuesta del sistema de suavización.....	71
5. Análisis económico de la calidad del agua	72
CAPÍTULO V. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS	74
1. Impacto de las características físico-químicas del agua en las etapas del proceso de acabado	74
1.1. Caracterización físico-química de las fuentes de abastecimiento de agua... 74	
1.2. Análisis de los efectos de la dureza en la calidad del producto	79
1.2.1 Muestreo y operación de las etapas de acabado	82
1.2.1.1. Hilos	82
1.2.1.1.1. Descrude de hilos	83
1.2.1.1.2. Teñido de hilos.....	85
1.2.1.2. Tejidos.....	88
1.2.1.2.1. Blanqueo	89
1.2.1.2.2. Blanco-blanco	96
1.2.1.2.3. Teñido semi-continuo	99
1.2.1.2.4. Teñido continuo	102
1.2.1.2.4. Teñido por agotamiento	105
2. Propuestas, acciones y mecanismos de control.....	109
2.1. Reformulación del proceso de blanqueo	109
2.2. Evaluación y propuesta del sistema de suavización.....	112
2.2.1. Propuesta de reforma para el sistema de suavización	118
3. Análisis económico de la calidad del agua	127
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	133
CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES	135
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA	137
CAPÍTULO VIII. APÉNDICE	141
Apéndice A. Caracterización de las fuentes de aguas.....	141
Apéndice B. Muestreo y operación a escala de laboratorio	153
Apéndice C. Definición de las propuestas	174
Apéndice D. Cálculos tipo	182

1. Cálculos del intercambiador iónico ciclo sódico. Evaluación	182
2. Cálculos del intercambiador iónico ciclo sódico. Diseño	183
3. Valor presente de la inversión total. Tren de 2 suavizadores.....	189
4. Ganancia total del proyecto.....	193

LISTA DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla N° 1. Operaciones de acabado a escala de laboratorio	55
Tabla N° 2. Consumo total de agua en el procesamiento de hilos	57
Tabla N° 3. Químicos empleados en el descrude de hilos	58
Tabla N° 4. Procedimiento de las etapas del descrude de hilo	59
Tabla N° 5. Químicos empleados en la tintura de hilos	59
Tabla N° 6. Colorantes empleados en la tintura de hilos	60
Tabla N° 7. Procedimiento de las etapas del teñido de hilos	60
Tabla N° 8. Distribución de las muestras de tejido según el valor de dureza	62
Tabla N° 9. Consumo total de agua en el procesamiento de tejidos	62
Tabla N° 10. Químicos empleados en el blanqueo de tejidos	63
Tabla N° 11. Procedimiento de las etapas del blanqueo de tejidos	64
Tabla N° 12. Químicos empleados en la preparación de tejidos blancos	65
Tabla N° 13. Procedimiento de las etapas de blanco-blanco	65
Tabla N° 14. Químicos empleados en el teñido semi-continuo	66
Tabla N° 15. Colorantes empleados en el teñido semi-continuo	66
Tabla N° 16. Procedimiento de las etapas del teñido semi-continuo	66
Tabla N° 17. Químicos empleados en el teñido continuo	67
Tabla N° 18. Colorantes empleados en el teñido continuo	67
Tabla N° 19. Procedimiento de las etapas del teñido continuo	68
Tabla N° 20. Químicos empleados en el teñido por agotamiento	69
Tabla N° 21. Colorante empleado en el teñido por agotamiento	70
Tabla N° 22. Procedimiento de las etapas del teñido por agotamiento	70
Tabla N° 23. Parámetros físico-químicos de las fuentes de abastecimiento de agua	75
Tabla N° 24. Unidades fuera de estándar y niveles de dureza en el agua de proceso	80

Tabla N° 25. Pruebas del control de calidad para el proceso de descruce de hilos	84
Tabla N° 26. Valoración de la solidez al blanqueo de los hilos teñidos	85
Tabla N° 27. Pruebas del control de calidad para el proceso de blanqueo	90
Tabla N° 28. Dureza total en el efluente del lavado	92
Tabla N° 29. Pruebas del control de calidad para el proceso de blanco-blanco	96
Tabla N° 30. Pruebas del control de calidad para el proceso de teñido semi-continuo	99
Tabla N° 31. Pruebas del control de calidad para el proceso de teñido continuo	102
Tabla N° 32. Pruebas del control de calidad para el proceso de teñido por agotamiento	106
Tabla N° 33. Valores de dureza adecuados en los procesos de acabado de T.P.G.	108
Tabla N° 34. Pruebas de control de calidad para las muestras de la reformulación	110
Tabla N° 35. Características físicas del sistema de suavización actual	113
Tabla N° 36. Análisis de la resina en el sistema de suavización	114
Tabla N° 37. Características del proceso de suavización actual	115
Tabla N° 38. Condiciones operacionales. Tren de dos suavizadores	119
Tabla N° 39. Condiciones operacionales. Tren de tres suavizadores	121
Tabla N° 40. Cuadro comparativo de las propuestas de suavización	122
Tabla N° 41. Material requerido en el laboratorio de aguas	123
Tabla N° 42. Ahorros generados por el sistema de tratamiento de agua industrial	130
Tabla N° 43. Inversión inicial estimada para las propuestas de reformas	131
Tabla N° 44. Valor presente de las inversiones en la reforma del sistema de suavización	132
Tabla N° 45. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006	142
Tabla N° 46. Variación de la dureza total durante el periodo de muestreo	149
Tabla N° 47. Variación de la alcalinidad total durante el periodo de muestreo	150

Tabla N° 48. Variación del pH durante el periodo de muestreo	151
Tabla N° 49. Variación del contenido de hierro durante el periodo de muestreo	152
Tabla N° 50. Variación del contenido de manganeso durante el periodo de muestreo	152
Tabla N° 51. Producción fuera de estándar por color. Año 2005	153
Tabla N° 52. Caracterización del hilo crudo	153
Tabla N° 53. Pruebas de control de calidad para el proceso de descrude de hilos	154
Tabla N° 54. Valoración de la solidez al blanqueo de los hilos teñidos	155
Tabla N° 55. Parámetros del sistema CIELAB para el color cayena (hilos)	156
Tabla N° 56. Caracterización del tejido crudo	156
Tabla N° 57. Pruebas del control de calidad para el proceso de blanqueo	157
Tabla N° 58. Disminución de la resistencia promedio de las muestras semi-blanqueadas respecto al tejido crudo	157
Tabla N° 59. Dureza total en el efluente del lavado	158
Tabla N° 60. Porcentaje de reflectancia en función de la longitud de onda para las muestras semi-blanqueadas	159
Tabla N° 61. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras semi-blanqueadas	161
Tabla N° 62. Desviación de los valores experimentales respecto a la muestra estándar para el grado de blanco en el proceso de blanqueo	162
Tabla N° 63. Pruebas de control de calidad para el proceso de blanco-blanco	163
Tabla N° 64. Porcentaje de reflectancia en función de la longitud de onda para las muestras blancas	164
Tabla N° 65. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras blancas	166
Tabla N° 66. Desviación de los valores experimentales respecto a la muestra estándar para el grado de blanco del proceso de blanco-blanco	167
Tabla N° 67. Pruebas de control de calidad para el proceso de teñido semi-continuo	168
Tabla N° 68. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras del teñido	

semi-continuo	169
Tabla N° 69. Pruebas de control de calidad para el proceso de teñido continuo	170
Tabla N° 70. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras del teñido continuo	171
Tabla N° 71. Pruebas de control de calidad para el proceso de teñido por agotamiento	172
Tabla N° 72. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras del teñido por agotamiento	173
Tabla N° 73. Solidez de los colorantes empleados en los teñidos según fabricantes	173
Tabla N° 74. Porcentaje de reflectancia en función de la longitud de onda para las muestras semi-blanqueadas con la reformulación de secuestrante	174
Tabla N° 75. Desviación de los valores experimentales respecto a la muestra estándar para el grado de blanco del proceso de blanqueo con la reformulación de secuestrante	175
Tabla N° 76. Parámetros operacionales y técnicos de la resina catiónica fuerte TULSION® T-42 Na SM	176
Tabla N° 77. Volúmenes procesados por los suavizadores actuales	176

LISTA DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura N° 1. Procesamiento industrial de un textil. Proceso seco	9
Figura N° 2. Esquemas de las etapas de tintura	13
Figura N° 3. Formación del leucoderivado de los colorantes tina	14
Figura N° 4. Reacción de la celulosa con el colorante reactivo	15
Figura N° 5. Esquema de un fulard	19
Figura N° 6. Sistema de color CIELAB	23
Figura N° 7. Filtro y sus componentes	26
Figura N° 8. Esquema de un suavizador	29
Figura N° 9. Procesamiento de hilos	57
Figura N° 10. Launder-Ometer	58
Figura N° 11. Procesamiento de tejidos	61
Figura N° 12. Distribución de las muestras en las operaciones de acabado de tejidos	61
Figura N° 13. Fulard para la impregnación de químicos y colorantes	63
Figura N° 14. Variación de la dureza total durante el periodo de muestreo	78
Figura N° 15. Producción fuera de estándar por color. Año 2005	79
Figura N° 16. Colores seleccionados para la fase experimental	81
Figura N° 17. Hilos crudos	83
Figura N° 18. Hilos descrudados	84
Figura N° 19. Evaluación de la transferencia en la solidez al blanqueo	85
Figura N° 20. Variación del color rojo en las muestras de hilos	86
Figura N° 21. Variación del color amarillo en las muestras de hilos	87
Figura N° 22. Tejido crudo	89
Figura N° 23. Equipo vaporizador construido en Abril de 2006	90
Figura N° 24. Grado de blanco en las muestras semi-blanqueadas	94
Figura N° 25. Grado de amarillamiento en las muestras semi-blanqueadas	95

Figura N° 26. Grado de blanco en las muestras blancas	98
Figura N° 27. Evaluación de la transferencia del color para el ensayo de solidez al lavado	99
Figura N° 28. Variación de los colores amarillo-azul en las muestras del teñido semi-continuo	101
Figura N° 29. Evaluación de la transferencia del color para el ensayo de solidez al lavado	103
Figura N° 30. Variación de la luminosidad en las muestras del teñido continuo	104
Figura N° 31. Variación de los colores rojo-verde en las muestras del teñido continuo	105
Figura N° 32. Evaluación de la transferencia del color para el ensayo de solidez al lavado	106
Figura N° 33. Variación del color rojo en las muestras teñidas por agotamiento	107
Figura N° 34. Grado de blanco para las muestras semi-blanqueadas en la reformulación	111
Figura N° 35. Esquema de suavización. Tren de dos unidades	119
Figura N° 36. Esquema de suavización. Tren de tres unidades	120
Figura N° 37. Encabezado de las páginas del manual de operaciones	124
Figura N° 38. Flujo de caja para las propuestas de reemplazo del tren de suavizadores	131
Figura N° 39. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006	141
Figura N° 40. Corrientes del esquema de suavización. Tren de dos unidades	184

GLOSARIO

Absorción: capacidad del tejido para retener las moléculas de líquido con las que se encuentra en contacto.

Arrollado: envuelto del tejido en forma de rollo.

Celulosa: polisacárido que forma la pared de las células vegetales. Principal componente de las fibras textiles de origen vegetal (algodón, lino, cáñamo, etc.).

Cenefa: franja sobrepuesta o tejida en el cuerpo de una toalla de la misma fibra o de otra distinta, cuya finalidad es adornarla.

Difusión: transporte molecular de uno o más componentes de una mezcla fluida. Paso de partículas a través de la materia cuando la posibilidad de dispersión es grande comparada con la de absorción.

Electrolito: sustancia capaz de conducir la corriente eléctrica en correspondencia con una migración de la materia. Son sustancias puras como soluciones de sales, ácidos o bases.

Elongación: es el poder que tienen los materiales de estirarse hasta volver a su punto original.

Estabilizante: sustancia química capaz de mantener las condiciones de pH en una solución y con esto evitar la descomposición de algún compuesto dentro de la misma.

Fijación: estado de reposo a que se reducen las materias después de agitadas y movidas por una operación química.

Hidrofilidad: capacidad del material textil para absorber agua.

Impregnación: acción o efecto de humedecer el tejido en la solución tintórea, haciendo que penetren las partículas de un cuerpo en las de otro, fijándose por afinidades mecánicas o físico-químicas.

Leucoderivado: sustancias químicas hidrosolubles que se forman a partir de la reducción del colorante en medio alcalino y que pueden ser absorbidos por el textil.

Reflectancia: fracción de la radiación total incidente sobre un cuerpo que es reflejado por el mismo.

Secuestrante: compuesto químico que tiene la propiedad de formar complejos con un ión metálico, manteniéndolo en solución e impidiendo la interacción de éste con el colorante, sustancia o fibra a la cual pueda causar daño.

Substantividad: afinidad del colorante hacia la fibra.

Sustrato: material textil objeto de transformación en una reacción química.

Trama: conjunto de hilos dispuestos a lo ancho que cruzados y enlazados con los de la urdimbre forman una tela.

Urdimbre: conjunto de hilos que se colocan en el telar en ángulo recto con los de la trama para formar una tela.

INTRODUCCIÓN

El agua tal como se encuentra en la naturaleza, no siempre puede ser usada en forma directa para consumo humano o para la industria. A su paso por el suelo, el subsuelo o el aire, el agua recoge materia en suspensión o solución, organismos vivos, sales disueltas, materias orgánicas y gases. La presencia de algunas de estas sustancias obliga a efectuar el tratamiento de las aguas antes de su empleo.

La calidad del agua (reflejada en sus características físico-químicas) requerida por la industria, varía en un amplio rango según el uso al cual se destine (servicio, transporte o como agua de proceso) y puede incluso variar en el tiempo con la evolución del proceso. En esta línea puede incluirse la elaboración de textiles que se lleva a cabo en la C.A. Telares de Palo Grande, en donde el agua industrial debe tener controlado los parámetros de: turbiedad, alcalinidad, pH, hierro y manganeso y principalmente dureza, siendo esta última la más objetable. Estos factores ejercen su influencia durante los procesos húmedos de acabado, en los cuales se consume aproximadamente el 85% del agua que se obtiene de la planta de tratamiento de agua industrial y donde el producto terminado adquiere las características adecuadas para su comercialización.

Con el fin de garantizar la calidad del producto, se hace necesario determinar los valores adecuados de dureza bajo los cuales se debe operar la planta de acabado y efectuar una serie de labores de supervisión y evaluación de las diferentes fases de obtención del agua. Estas labores son conocidas por el nombre genérico de control de calidad, pero en su concepción más amplia involucra: **(a)** el control de procesos, tanto textil como de tratamiento de agua industrial y **(b)** el control de calidad del agua a través de la elaboración de instrucciones técnicas de operación.

El control de calidad se deberá efectuar en forma sistemática, continua y de acuerdo con programas y requerimientos específicos de la empresa, estableciendo prioridades sobre la base de estudios de variabilidad de la dureza, permitiendo así reducir los riesgos económicos que implica suministrar agua de calidad no adecuada.

Este trabajo tiene como objetivo analizar la influencia del agua en el proceso textil y estudiar los cambios tecnológicos asociados a los resultados que se puedan generar. Comienza por identificar y caracterizar las fuentes de abastecimiento de aguas a la empresa; seguidamente se establecen los valores promedio y extremos de los parámetros de calidad del agua y su efecto sobre el producto, por lo cual se hace necesario evaluar cada una de las etapas del proceso de acabado, descruce y teñido de hilos, blanqueo y teñido de telas. Las evaluaciones se realizan a escala de laboratorio empleando equipos estandarizados por la American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC).

Finalmente es apropiado mencionar que determinar, aplicar e incluso mantener las características del agua de proceso influye no sólo en el producto final, también puede significar un impacto en la economía del proceso.

CAPÍTULO I.

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La C.A Telares de Palo Grande es una planta industrial de producción textil creadora de la marca comercial *Ama de Casa*, actualmente se dedica a la fabricación de toallas de baño, cobijas, edredones y coletes. El proceso textil se lleva a cabo en dos etapas: los procesos secos de hilatura y tejido y la etapa de los procesos húmedos de acabado.

Durante la etapa de acabado la tela y los hilados crudos son acondicionados proporcionándole las características imprescindibles para su comercialización, esta etapa incluye el descrude de hilos, el blanqueo de tejidos, el teñido tanto de telas como de hilos y el lavado-suavizado. Una mala operación de acabado se traduce en un aumento de la producción de textiles de menor calidad comercial (de segunda), gasto innecesario de aditivos químicos (colorantes, secuestrantes, neutralizantes, detergentes, etc.) y reproceso de cargas con los consecuentes gastos energéticos, de tiempo, mano de obra y recursos empleados en su realización.

Es justamente en la etapa de acabado textil en donde se congregan factores como la calidad del agua, el desempeño de los operarios, la eficiencia de la maquinaria, la calidad de los aditivos químicos, etc., que influyen en el producto final. Durante años la empresa se ha dedicado a documentar los procedimientos de la planta de acabado buscando estandarizar las condiciones de operación y minimizar la producción fuera de estándar; de la misma manera se ha apoyado en la información técnica proporcionada por los proveedores de los diferentes aditivos químicos, cuyas casas matrices han estudiado los efectos y necesidades que surgen en la planta de acabado

textil, Por último cabe mencionar que la empresa cuenta con maquinarias antiguas que se estima no sean reemplazadas.

El empleo de una calidad no apropiada en el agua, dentro de los procesos húmedos trae consecuencias económicas sobre la empresa y de calidad directamente relacionadas con el producto final. Como alternativa inmediata la empresa propone analizar la dureza del agua como un agente influyente, con la finalidad de determinar él o los valores de dureza que favorezcan a la mayoría de los procesos húmedos y más aun se aspira lograr reproducir estas características del agua en la planta de tratamiento de agua industrial.

Este proyecto se centra en el control de la dureza ya que es este parámetro el que incide en casi todos los procesos desde el blanqueo hasta el teñido. Es importante señalar que la industria textil no cuenta con valores o rangos de dureza reportados en la bibliografía bajo los cuales deba operar la planta de acabado.

Para determinar la influencia de la dureza del agua se realizarán pruebas del proceso de acabado a escala de laboratorio variando los rangos y evaluando el producto final según normas de control de calidad textil. Asimismo se realizarán análisis físico-químicos a las fuentes de abastecimiento del agua con el fin de comprobar que parámetros de calidad como: alcalinidad, pH, hierro, manganeso y turbiedad se encuentran en los rangos permitidos. Una vez determinada la dureza que se requiere en planta se procederá a estudiar los mecanismos que harán posible la obtención del tipo de agua requerida.

2. ANTECEDENTES

A continuación se presenta una breve descripción de los diferentes trabajos que se han realizado en C.A. Telares de Palo Grande y que se relacionan con la influencia de la dureza del agua sobre el producto terminado

2.1. Charlton, S. (2005): el material denominado “*Secuestrantes*” se centró en dos aspectos importantes: **(a)** los peligros de la dureza en el blanqueo y el teñido y **(b)** el uso de secuestrantes. Charlton estableció las dos fuentes principales de dureza, el algodón y el agua de proceso; así mismo pudo afirmar que la presencia de metales en los procesos húmedos tiene una fuerte influencia en el éxito de la preparación, el teñido del algodón, en la productividad, la calidad del producto y en el proceso. Otro logro de este trabajo fue la deducción de que los colores más sensibles a la dureza son los rojos y los verdes.

En el material se presentó también la teoría de los secuestrantes, resaltando la importancia de su uso para evitar la acción de los iones metálicos. Pudo concluir que se debe seleccionar el producto que sea efectivo con los metales problemáticos y escoger el producto que pueda funcionar bajo las condiciones del proceso de la empresa.

Seguidamente se presenta una breve descripción de los diferentes trabajos que se han realizado en C.A. Telares de Palo Grande y que se relacionan con el acabado textil, dichos trabajos permitieron concebir la estructura metodológica de la evaluación del proceso húmedo.

2.2. Pacheco, J. (1991): presentó un material en donde se sintetizaron algunas ideas de los procesos de blanqueo para tejidos a base de fibras celulósicas, poliéster y sus mezclas, involucrando las variables de importancia para la calidad del proceso. Bajo el título de “*Introducción a los procesos de acabado*” resumió la teoría del blanqueo

textil resaltando las ventajas y desventajas de las variables generales de control en los diferentes procedimientos de blanqueo.

2.3. Niño, O. (2002): realizó el seguimiento de la producción de toallas desde la obtención de la fibra de algodón hasta el proceso de teñido. Niño concluyó que los colorantes presentan gran afinidad por la fibra celulósica y que el proceso de teñido más conveniente es el continuo debido al menor consumo de tiempo durante la fijación que se realiza en el vaporizador, lo que se traduce en un aumento de la producción. Finalmente resalta la importancia de realizar las pruebas de acabado a escala de laboratorio para minimizar los costos de operación.

2.4. Mijares, G. (2003): reunió todas las condiciones de operación de la planta de acabado y las organizó en un llamado “*Manual operativo y descriptivo de la planta de acabado*”. En este trabajo se documentaron las especificaciones de operación de los diferentes equipos realizando tomas de datos continuos durante el proceso y realizando entrevistas al personal operativo, además muestra los esquemas de las operaciones de acabado tanto de hilos como de tejidos.

2.5. Arellano, J. (2004): desarrolló un trabajo de investigación titulado “*Control de calidad en la planta de acabado*” que describe los distintos ensayos que deben realizarse en el laboratorio textil y que garantizan la eficiencia de los procesos de acabado y la calidad del producto final. Arellano complementa su estudio con un seguimiento de las condiciones de operación del tren de blanqueo evaluando la eficiencia de los productos químicos: secuestrantes, detergentes, dispersantes, neutralizantes y álcalis. Encontró que el neutralizante en la fórmula de blanqueo regulaba el pH a su valor óptimo y que el secuestrante no alteraba la estabilidad del álcali. Concluyó en que el proceso de blanqueo que se realizaba en la empresa para la fecha era aceptable.

3. OBJETIVOS

3.1. General:

- Analizar la influencia de la dureza del agua sobre el proceso productivo de la industria textil.

3.2. Específicos:

- Identificar el impacto que tiene la dureza del agua industrial sobre las etapas de acabado: descruce y teñido de hilos, blanqueo y teñido de telas de forma continua, semi-continua y por agotamiento.
- Analizar la muestra textil de acuerdo a parámetros de control de calidad para evaluar la eficiencia de cada una de las etapas de acabado ensayadas, según el valor de dureza del agua empleada.
- Proponer acciones y mecanismos de control que se deben aplicar para garantizar la calidad del agua requerida en el proceso textil.
- Evaluar la eficiencia del sistema de suavización de la planta de tratamiento de agua industrial.
- Elaborar un manual de operaciones para el acondicionamiento del agua en la planta de tratamiento de agua industrial.
- Analizar el impacto económico que tiene la calidad del agua sobre el proceso y sobre el producto terminado.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. El proceso textil

La industria textil es aquella que involucra una variedad de procesos a partir de los cuales las fibras pasan a formar: **(a)** estructuras de longitud continuas intermedias conocidas como hilos, los cuales se entrelazan a la vez formando estructuras planas flexibles llamadas telas y **(b)** materiales no tejidos (similares al fieltro) formados mediante la unión química de la fibra. [Kirk-Othmer, 1998]

La industria textil algodonera se encarga de procesar la fibra de algodón, el cual es un polímero natural de celulosa pura con propiedades únicas de durabilidad, resistencia y absorción. La calidad de la fibra de algodón está influenciada principalmente por los niveles de humedad, el agua es uno de los componentes naturales que tiene efectos sobre las propiedades físicas (resistencia, elasticidad, rigidez, hinchamiento, etc.), las reacciones químicas y el crecimiento microbiano. [Ivester L., 2001]

La transformación de la fibra cruda en hilos o en tejidos no acabados, es esencialmente una operación en seco, mientras que el proceso de acabado es una operación húmeda. A grandes rasgos el procesamiento textil que se realiza en Telares de Palo Grande (T.P.G.) comprende las fases mostradas en la Figura N° 1.

Los procesos secos comprenden el conjunto de operaciones mediante las cuales se transforman las fibras en hilos continuos y uniformes o en tejidos. Para transformar las fibras básicas en hilos es necesario desenredar, separar y pulir previamente las fibras, luego disponerlas de manera que pueda formarse con ellas un cilindro de longitud indefinida, cuyas fibras se encuentran orientadas paralelas entre sí, así

mismo es preciso adelgazar y consolidar mediante torsión el hilo y finalmente arrollarlo. [ASTM, 1976]

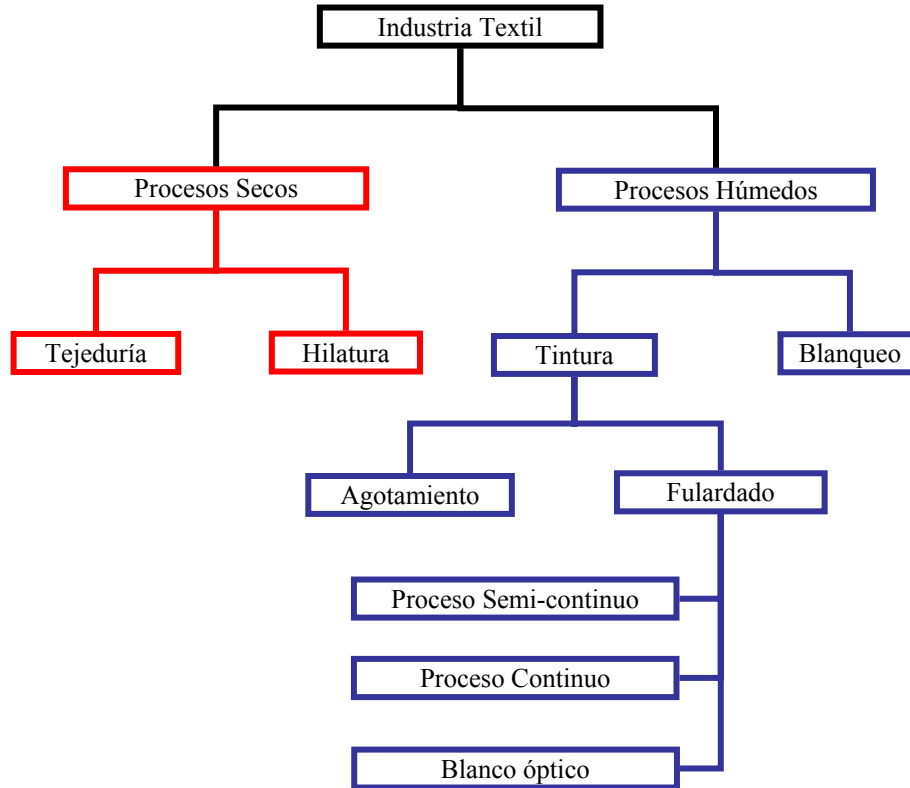


Figura N° 1. Procesamiento industrial de un textil. □ Proceso seco. □ Proceso húmedo.
(Fuente: ACERCAR, 2000)

Las bobinas con el hilo son conducidas a la etapa de *tejeduría* donde en primer lugar se le confiere al hilado las características apropiadas de resistencia mediante el encolado con almidón, por último se entrelazan las fibras para formar el tejido. Luego de la hilatura la materia textil puede ser enviada a tejeduría para la creación de telas o pueden ser directamente conducidas a las etapas de acabado, confiriéndole las características adecuadas para su empleo en cenefas, en la creación de telas a rayas o incluso para su comercialización.

Los procesos húmedos también llamados de acabado, es un término que se aplica a una gama de tratamientos que suelen llevarse a cabo durante la fase final de la

fabricación de los materiales textiles hilados o tejidos y donde el principal agente involucrado en la calidad del producto obtenido, es el **agua**. El uso de una calidad en el agua no adecuada puede generar: teñidos no uniformes, baja solidez, gasto innecesario de químicos, disminución de la calidad del producto y reproceso de cargas. [Ivester L., 2001]

En T.P.G. y en muchas industrias textiles el desencolado o eliminación del almidón empleado en la tejeduría, el descruce de la fibra y la limpieza suelen realizarse en una sola etapa de acabado denominada *blanqueo* que garantiza los mismos resultados.

La *tintura* en el acabado se encarga de conferirle coloración a la materia textil luego que ésta es puesta en contacto con una solución tintórea; este proceso puede llevarse de dos maneras: **(a)** *por agotamiento*, cuando el colorante presenta afinidad por la materia textil y **(b)** *por fulardado*, cuando el colorante se transfiere a la fibra por impregnación y posterior fijación.

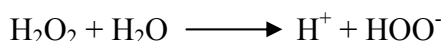
La etapa de fijación en la tintura por fulardado permite definir los procesos en *continuos* y *semi-continuos*; en los primeros la fijación se realiza en cámaras de vaporizado y en los segundo la materia textil permanece rotando durante un periodo de 12 a 24 h. para que ocurra la fijación. Se incluye dentro de los procesos de tintura al *blanqueo óptico* debido a que los abrillantadores fluorescentes presentan un comportamiento similar a los colorantes.

1.1. Blanqueo

La finalidad de este proceso es remover impurezas naturales adheridas a la fibra, liberando los grupos reactivos de la celulosa bloqueados por sustancias extrañas para aumentar el grado de blancura, mejorar la hidrofiliidad del tejido y eliminar el almidón utilizado en la fórmula de encolado. Los principales agentes blanqueadores

usados en la preparación de textiles son el hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno y clorito de sodio. [ACERCAR, 2000]

Se estima que entre el 90 y el 95% de todo el algodón puro y mezcla algodón/sintético son blanqueados con peróxido de hidrógeno, este agente es un ácido débil y ioniza en agua para formar el ión hidrógeno y el ión perhidroxilo.



Los valores óptimos de pH para el blanqueo se tienen entre 10,2 a 10,7. El peróxido de hidrógeno no se descompone a altas temperaturas, lo cual lo hace ideal para el blanqueo que ocurre generalmente entre 95 y 100 °C. [Tomasino C., 1992]

El blanqueo se realiza de forma continua por oxidación del tejido, con un baño de impregnación que contiene: agua, álcali, peróxido de hidrógeno (H₂O₂ 50%), estabilizante, secuestrante y detergente. Se hace reaccionar el textil en cámaras apropiadas (cajas de vaporizado debidamente aisladas) a través de las cuales circula vapor saturado en operación continua.

El álcali (generalmente soda cáustica) es utilizado para que reaccione con los aceites y grasas, saponificándolas y transformándolas en jabón, el cual puede ser retirado fácilmente del tejido con agua de dureza moderada (75-150 ppm).

El peróxido de hidrógeno es el encargado de oxidar las cascarillas, degradándolas poco a poco hasta retirarlas completamente, esta degradación debe ser regulada para evitar que pueda afectar al tejido.

Es preciso agregar estabilizantes a la solución de blanqueo para controlar la descomposición del peróxido de hidrógeno. La función de los estabilizantes es proveer una acción buffer que controla el pH en niveles óptimos y cataliza la

influencia de las trazas de metales como el calcio, magnesio, manganeso y hierro que pueden degradar la fibra, generar un menor grado de blancura y uso ineficiente del peróxido. Las fuentes de dichos metales son: **(a)** el agua de proceso y **(b)** el tejido crudo. [Charlton S., 2005]

Los secuestrantes son los encargados de liberar de durezas al tejido, sin embargo, la cantidad de este último se ve condicionada por la dureza contenida en el agua de proceso porque reaccionan también con los iones metálicos presentes en ella precipitándolos para que no interfieran en las reacciones del blanqueo.

La maquinaria necesaria para el blanqueo textil está compuesta por tres secciones básicas:

- a. Acumulado e impregnación:** esta sección consta de dos componentes: la batea de acumulación donde se almacenan las toallas a todo lo ancho para iniciar el proceso y la tina de impregnación donde se pone en contacto el material textil con los químicos.
- b. Vaporizado:** el género textil es calentado debido a que el vapor saturado condensa sobre la superficie del tejido. Cuanto mayor es la capacidad de condensación y mientras pueda evitarse la entrada de aire mediante una presión de vapor elevada, mejor será el calentamiento.
- c. Lavado en cuerda:** después de salir de la caja vaporizadora el textil pasa por el proceso donde las impurezas extraídas del sustrato son fácilmente eliminadas.

1.2. Tintura

Es la etapa más compleja dentro de las operaciones de procesamiento húmedo; involucra una gran variedad de colorantes y agentes auxiliares de teñido. La calidad

de la tintura depende del equipamiento empleado, la fórmula específica, los tintes y auxiliares de tintes que proveen el medio químico para su difusión y fijación sobre la fibra. [ACERCAR, 2000]

Se puede definir el teñido o la tintura como aquel proceso durante el cual una materia textil puesta en contacto con una solución o dispersión de un colorante, absorbe a éste de tal forma que el cuerpo teñido tiene alguna resistencia a devolver la materia colorante al baño del cual la absorbió. [Cegarra J., 1984]

En un proceso tintóreo la molécula del colorante, pasa por las siguientes fases: un movimiento a través de la fase líquida hacia la fibra, conocido con el nombre de *difusión* del colorante en el baño tintóreo, su paso desde la fase líquida a la sólida conocida con el nombre de *absorción*, un movimiento desde la superficie de la fibra hacia su interior, que se puede catalogar como *difusión a través de la fibra* y por último el establecimiento de los enlaces entre fibra y colorante que constituye la *fijación*. En la Figura N° 2 se indica el esquema de las etapas de la tintura: [Cegarra J., 1984]

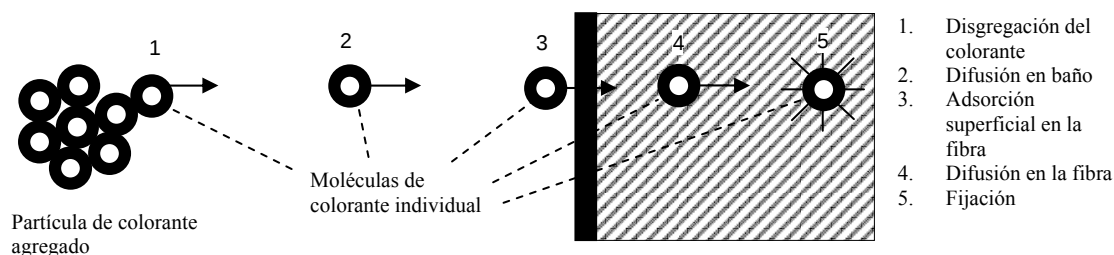


Figura N° 2. Esquema de las etapas de tintura. (Fuente: Cegarra J., 1984)

Por lo general, los colorantes se disuelven o dispersan en un medio líquido antes de aplicarse a un sustrato al cual se fijan por medios químicos, físicos o ambos. Debido a su idoneidad, disponibilidad y economía, el agua es comúnmente el medio que se utiliza en la aplicación de los colorantes. [Cegarra J., 1984]

Es precisamente en la etapa de difusión del colorante en el baño y en la etapa de fijación donde los iones que causan la dureza interfieren en el teñido, formando complejos con las moléculas del colorante e impidiendo la penetración del mismo en el sustrato.

1.2.1. Colorantes tina

Bajo esta denominación se agrupan una serie de colorantes de diferente constitución química que son insolubles en agua, pero que por reducción en medio alcalino se transforman en leucoderivados hidrosolubles que pueden ser absorbidos por el textil y fijados sobre el mismo. En la Figura N° 3 se muestra la formación del leucoderivado soluble del colorante.

Los colorantes tina tienen substantividad por las fibras textiles, sobre las cuales se desarrolla el color primitivo por posterior oxidación. El proceso de reducción de estos colorantes está fundamentado en la acción reductora del hidrógeno sobre el grupo carbonilo, transformándolo en un grupo alcohólico, lo que genera la solubilidad en medio acuoso alcalino. Los leucoderivados son fácilmente oxidables por el oxígeno del aire regenerando el colorante insoluble.

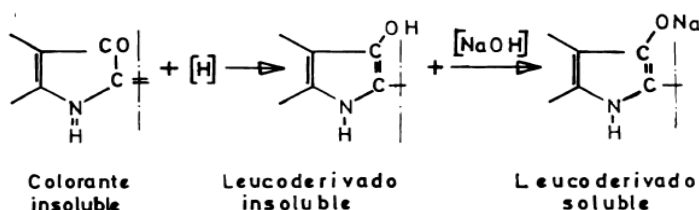


Figura N° 3. Formación del leucoderivado de los colorantes tina. (Fuente: Cegarra J, 1984)

El estudio de equilibrio de los colorantes tina es difícil porque muchos de ellos no son estables durante suficiente tiempo en las soluciones fuertemente alcalinas necesarias para tener su forma soluble, y su fácil reoxidación implica la exclusión del aire durante la fijación. Por otra parte, la complejidad del baño que contiene iones

metálicos, iones del colorante, iones hidroxilo, iones hidrosulfito y a menudo iones cloruro, así como los productos de oxidación del agente reductor, hace extremadamente difícil un desarrollo teórico exacto. [Cegarra J., 1984]

Como compuesto reductor se utiliza *hidrosulfito sódico* y como álcali se utiliza exclusivamente la *soda cáustica*. La soda cáustica se utiliza en: **(a)** la formación del leuco, **(b)** la transformación de la celulosa en álcali-celulosa y **(c)** la neutralización de los productos ácidos de descomposición del hidrosulfito. Finalmente la soda cáustica mantiene el pH suficientemente elevado para evitar la hidrólisis, la isomerización y la sobre-reducción del colorante, fenómenos que dan lugar a cambios de matiz y disminución de la intensidad de tintura. [Cegarra J., 1984]

1.2.2. Colorantes reactivos

Los colorantes reactivos contienen grupos funcionales capaces de formar enlaces covalentes con los sitios activos de las fibras, tales como los grupos hidroxilo en la celulosa (ver Figura N° 4). [Kirk-Othmer, 1998]

Desde el punto de vista de la tintura no debe olvidarse que la celulosa y el colorante reactivo se encuentran en contacto con el agua, la cual también es capaz de reaccionar con el grupo reactivo del colorante, dando lugar al denominado colorante hidrolizado que ha perdido su capacidad de formar enlace covalente con la celulosa. [Cegarra J., 1984]

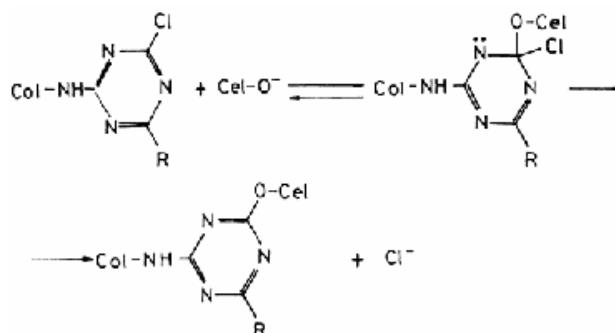


Figura N° 4. Reacción de la celulosa con el colorante reactivo. (Fuente: Cegarra J, 1984)

El otro factor que influye en las reacciones es la temperatura, de tal forma que al aumentarla se incrementa la velocidad de reacción con la celulosa y el agua. Los colorantes reactivos son de carácter aniónico, solubles en agua y estables en aguas de dureza no superior a 3 grados alemanes dH (53,4 mg/l). La tintura de fibras celulósicas con los colorantes reactivos tiene lugar en tres etapas: [Charlton S., 1984]

- a. **Absorción:** del colorante por la fibra en medio neutro y con adición de un electrolito.
- b. **Reacción:** se añade álcali a la solución iniciándose la reacción del colorante con la celulosa y con el agua, estando esta última en mayor proporción, el colorante reacciona preferentemente con la celulosa.
- c. **Eliminación del colorante hidrolizado:** éste se encuentra en tres situaciones distintas: **(a)** disuelto en la fase acuosa, su eliminación se produce por vaciado del baño, **(b)** disuelto en la fase acuosa intermicelar de la fibra cuya eliminación consiste en el lavado con agua y **(c)** absorbido por la fibra resultando difícil de extraer cuando su afinidad por la fibra es alta, dicha extracción se basa en el equilibrio que se da entre **(b)** y **(c)** el cual depende de tres factores: afinidad del colorante, contenido de electrolitos y temperatura.

1.2.3. Blanqueadores ópticos

Los blanqueadores ópticos (abrillantadores), son compuestos orgánicos sustancialmente incoloros, que aplicado a materiales, absorben la luz ultravioleta de la luz solar o la luz fluorescente y emiten la energía absorbida en forma de luz azul visible. La luz azul emitida compensa ópticamente el tono amarillento del material, dándole una apariencia de un color blanco mucho más puro. [Kirk-Othmer, 1998]

1.2.4. Proceso de tintura de textiles

El teñido puede hacerse de forma continua o por cargas, el proceso escogido depende de la naturaleza del textil, el tipo de colorante y el empleo del producto final. Se puede indicar que un colorante se fija en una materia textil por alguno de los dos sistemas que se citan a continuación: [Cegarra J., 1984]

- a. **Transferencia del colorante desde la solución hacia la fibra por efecto de la afinidad:** característico de los *procesos de tintura por agotamiento*.
- b. **Transferencia del colorante hacia la fibra por efecto de una impregnación:** la materia textil se impregna en una solución que contiene el colorante, el cual puede o no presentar afinidad por la fibra, uniéndose posteriormente a ésta por un tratamiento que se denomina fijación. Este tipo de transferencia es típico de los *procesos de tintura por fulardado*.

1.2.4.1. Tintura por agotamiento (sistema por cargas)

La materia textil es introducida dentro de una solución tintórea en la cual el colorante presenta una alta afinidad por la fibra, tendiendo a disminuir la concentración del colorante en el baño mientras que en la fibra aumenta producto de la absorción. En estos sistemas existe una relación ponderal entre el peso de la fibra y la solución, conocido como relación de baño, oscilante entre 1/3 y 1/60. [Cegarra J., 1984]

Los **autoclaves de tintura** son las principales máquinas empleadas en la tintura por agotamiento y donde la materia textil se encuentra estática y la solución tintórea en movimiento; los mismos son empleados para teñir empaquetados textiles. La característica más importante de este equipo es trabajar en un sistema cerrado, el cual

está sometido a una presión estática igual o superior a la presión del vapor de agua correspondiente a la temperatura a la cual se está tiñendo.

Las máquinas **jet** usadas en los tratamientos húmedos de los tejidos en cuerda, tiñen mediante circulación en equicorriente de la solución tintórea y el tejido. En general el tejido es arrastrado por la solución tintórea, que impulsada por una bomba a través de una tobera, crea un flujo de líquido que impregna y arrastra al tejido en su movimiento, produciendo el desplazamiento de éste en la máquina. Esta máquina permite reducciones en el consumo de agua y acortamiento de los ciclos de tintura.

[Cegarra J., 1984]

1.2.4.2. Tintura por fulardado (sistemas continuos o semicontinuos)

Se denomina fulardado a la operación que consiste en impregnar una materia textil en forma de mecha, cuerda o tejido, en una solución que contenga los compuestos químicos, sin variación de su concentración y posteriormente se elimina parte de la solución impregnada mediante escurrido entre dos cilindros, para una distribución mecánica y uniforme del colorante sobre la fibra.

La cantidad de solución que transporta el tejido se denomina “grado o porcentaje de impregnación” definido como el porcentaje de solución referido al peso en seco del tejido.

$$\%impregnación = \frac{Peso_{húmedo} - Peso_{seco}}{Peso_{seco}}$$

Los elementos más importantes de un fulard son mostrados en la Figura N° 5.

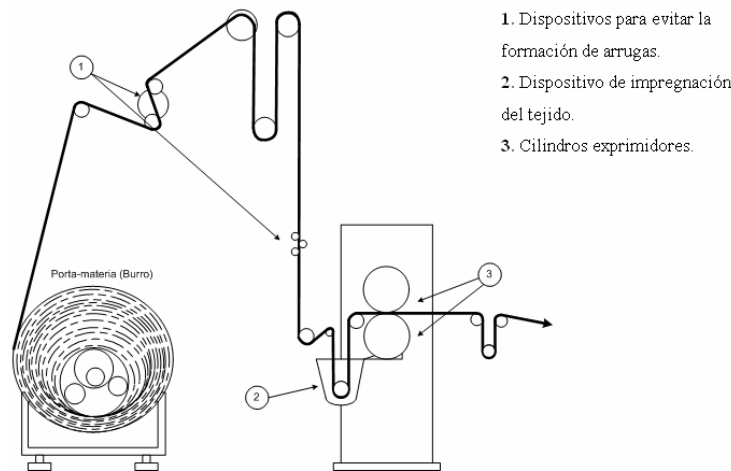


Figura N° 5. Esquema de un fulard. (Fuente: Cegarra J., 1984)

Una vez que el colorante ha sido fulardado en el textil, queda distribuido uniformemente en la superficie de la fibra, pero no presenta ni solidez adecuada ni el color verdadero. Es necesario entonces proceder a la fijación del colorante, que permita la difusión y unión a la fibra. Los procesos de fijación se pueden realizar de las siguientes maneras: [Cegarra J., 1984]

- a. Con la fibra húmeda, temperaturas inferiores a los 100 °C y tiempos relativamente cortos, característico de los sistemas de reactividad específica entre el colorante y la fibra.
- b. Mediante la aplicación de calor, pudiéndose emplear calor húmedo (vapor saturado y sobrecalentado) o calor seco (aire caliente, placa metálica, paneles radiantes, etc.).

Los **tratamientos posteriores** al proceso de tintura tienen por misión conferirle al teñido las características de color y solidez exigidas, así como la eliminación de sustancias químicas que pudieran quedar retenidas en la fibra. Como ejemplo de estos tratamientos se tiene: la oxidación, el aclarado y el lavado.

En estos tratamientos es esencial que el agua sea de calidad apropiada, la dureza provoca que se consuma más detergente, estabilizantes y secuestrantes durante el lavado. La capacidad de consumo de estos auxiliares es de importancia desde el punto de vista económico.

2. Calidad textil

Para determinar si el producto textil acabado es aceptable, debe someterse a un conjunto de pruebas de control de calidad, directa o indirectamente dichas pruebas reflejan la eficiencia de los diferentes procesos de acabado; a continuación se enumeran algunas de ellas:

2.1. Solidez

Se entiende por solidez de una tintura a la resistencia que presenta la fibra a variar o perder su color al ser sometida a la acción de un determinado agente, pudiendo dar lugar a la degradación del color y/o a la transferencia sobre otros textiles. Los agentes se pueden clasificar en aquellos que actúan normalmente durante el proceso de manufactura (lavado, blanqueo, etc.) y aquellos otros que actúan durante el uso (agua, agua de mar, sudor, frote, planchado, etc.) [Cegarra J., 1984]

El proceso de tintura influye notablemente sobre la solidez; las condiciones de temperatura, tiempo y calidad del agua influyen directamente en la estabilidad. Los leucoderivados forman compuestos insolubles con las sales cálcicas y magnésicas de las aguas que no presentan afinidad por el género, por esta razón las tinturas efectuadas con agua dura son menos sólidas. [BASF, 1995].

Las pruebas de solidez realizadas en el control textil de la empresa T.P.G. son:

- a. **Solidez al lavado:** este ensayo permite determinar la pérdida de color sufrida por una muestra al ser sometida al lavado doméstico y/o comercial bajo condiciones apropiadas de temperatura y acción abrasiva durante un tiempo corto. [Cegarra J., 1984]
- b. **Solidez al frote:** es la valoración que indica el manchado del testigo tanto en el frote seco como en el frote húmedo, se evalúa tanto la degradación de color en la muestra como la transferencia del color al tejido testigo. [Cegarra J., 1984]
- c. **Solidez al blanqueo:** es la valoración que indica el manchado de un testigo de la misma fibra, para ello los hilos teñidos se ponen en contacto con hilos descrudados y se envía al proceso de blanqueo evaluando tanto la degradación de la muestra como la transferencia al testigo. Este ensayo se realiza en los hilos teñidos usados para la elaboración de toallas a rayas (rayas blancas y de color), el teñido debe ser capaz de soportar el proceso de blanqueo, sin sufrir degradación.

Una manera sencilla de evaluar los ensayos de solidez es a través de la valoración visual de las muestras con la ayuda de las denominadas Escalas de Grises de degradación y transferencia. Sin embargo esta Escala de Grises puede ser obtenida directamente en equipos analizadores de color. [COVENIN 808, 1975]

2.2. Resistencia a la tensión

El ensayo establece el método para determinar la resistencia que ofrecen las telas a la rotura por tensión en el sentido tanto de la *trama* como de la *urdimbre*. El tejido durante en procesamiento inadecuado sufre erosión debilitándose la fibra [COVENIN 517, 1984]

2.3. Contenido de almidón

El método contempla la determinación de la presencia de almidón sobre el tejido textil evaluando de esta forma la eficiencia del proceso de blanqueo, donde se debe eliminar la fórmula de encolante utilizada. La evaluación de este parámetro se realiza aplicando una solución de yodo sobre el textil y observando la coloración a partir de la cual se clasifica el género según la siguiente escala: [BASF, 1967]

- Azul oscuro: del 1 al 3, presencia de almidón no degradado (malo).
- Azul claro: del 4 al 5, presencia de restos de almidón no degradado (parcial).
- Naranja-amarillo: del 6 al 9, ausencia total de almidón.

2.4. Hidrofilidad de un tejido

La absorción es uno de los factores más importantes a determinar en la fabricación de toallas, tanto en su rapidez como en la uniformidad en la superficie del material, especialmente luego del proceso de blanqueo, durante el cual la tela es descrudada, mejorando sus propiedades hidrofílicas. El objetivo de este ensayo es registrar el tiempo de absorción de una gota de agua. Para un tiempo de absorción menor a 2 segundos se considera que la hidrofilidad es “buena”, entre 2 y 6 segundos “regular” y para un tiempo mayor a 6 segundos se considera “mala” hidrofilidad. [T.P.G. MME, 2003]

2.5. Contenido de dureza en la tela

El valor del contenido de dureza en el algodón permite conocer la calidad del tejido determinando el aporte de dureza del género. La determinación de este parámetro se realiza por extracción sometiendo la muestra a ebullición sobre agua destilada, y determinando la dureza posteriormente por titulación del extracto según el ensayo N° 2340C de los Métodos Estándar. [Standard Methods, 1998]

2.6. Grado de blanco

La eficiencia del proceso de blanqueo y blanco-blanco puede ser determinada mediante el grado de blancura. En el primero un correcto aspecto de blanco evita alteraciones en la coloración dentro del proceso de tintura. En el segundo da la apariencia de pureza indispensable comercialmente. Muchas impurezas son absorbidas por la luz de la longitud de onda corta, resultando la apariencia de amarillento al observador. Dado que la reflectancia es afectada por la naturaleza de la superficie del textil, sólo pueden hacerse las comparaciones entre muestras del mismo tipo. [AATCC, 1992]

2.7. Valoración del color

La valoración del color permite determinar la diferencia que presenta las muestras ensayadas respecto a un estándar; se sabe que ningún par de muestras presenta valores idénticos de color al 100%, sin embargo se deben entregar los productos con una exactitud de color que satisfaga la exigencia de calidad del comprador. La percepción humana del color es muy subjetiva, por ello es importante determinar las variaciones de color con ayuda de un colorímetro y un sistema de color. La Figura N° 6 muestra el sistema CIELAB.

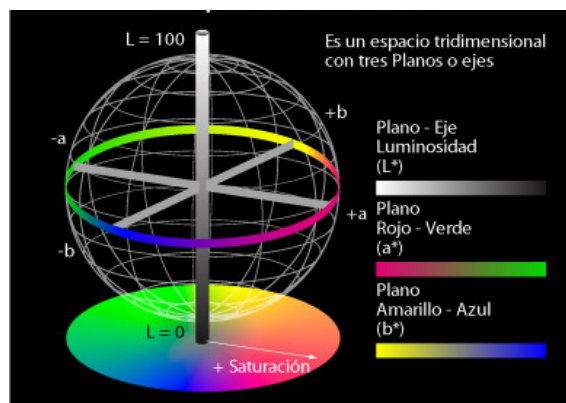


Figura N° 6. Sistema de color CIELAB. (Fuente: Westland, 2001)

El sistema de color CIELAB es el más usado y permite medir: (a) la saturación conocida como el parámetro c^* , (b) el tono, conocido como h , (c) el parámetro L^* que marca el eje de la luminosidad del color, (d) la variación rojo-verde o a^* y (e) la variación amarillo-azul o b^* .

3. Calidad del agua en la industria textil

El agua usada en el proceso húmedo debe tener controlado los parámetros de: turbidez, alcalinidad, pH, hierro, manganeso y dureza, además no debe ser corrosiva. [AWWA, 2002]

- a. **La turbidez y el color:** los materiales insolubles suspendidos y el color del agua afectan los procesos de blanqueo y tintura generando colores fuera de estándar e incluso manchas en el tejido. La tolerancia para la turbidez por lo general no debe exceder a 1 NTU (unidades nefelométricas). Universalmente se emplean equipos de clarificación, coagulación y filtración para lograr la turbidez y el color deseado. [AITEK, 2002]
- b. **Alcalinidad y pH:** dentro de la planta de acabado existen procesos con reacciones químicas que generan productos ácidos, lo que hace imprescindible agregar en las formulaciones compuestos alcalinos capaces de neutralizarlos. De allí la importancia de mantener los valores de alcalinidad y pH en rangos adecuados: 100-200 mg/l y 7-8 respectivamente.
- c. **Hierro y manganeso:** estos minerales causan manchas en los tejidos llegando a catalizar alguna de las reacciones en la planta de acabado. Las tolerancias para el hierro y el manganeso se han establecidos en 0,3 y 0,1 mg/l respectivamente. La eliminación de estos elementos, cuando se encuentra como bicarbonato se lleva a cabo por aireación seguida de filtración o sedimentación, cuando se encuentran en

estado orgánico usualmente responde a los procedimientos de coagulación con alumbre.

- d. Dureza:** es objetable en la mayoría de los procesos húmedos. Tanto las aguas de superficie como las subterráneas pueden ablandarse mediante procesos de intercambio iónico a través de resinas de ablandamiento. Las más comúnmente utilizadas son las de intercambio catiónico de ciclo sodio.

En el procesamiento del algodón, la dureza forma nódulos duros de jabón solubles en las etapas de lavado, depósitos adherentes durante el descrude y el blanqueo que evitan la penetración de los químicos en las fibras. La dureza es también la causa de los problemas de teñido principalmente en la tintura con colorantes tina, además causa desperdicios de colorantes y teñidos no uniformes. Algunos fabricantes de colorantes especifican los valores de dureza recomendados para garantizar un teñido eficiente.

La industria textil C.A. Telares de Palo Grande, tal como se describe en el CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL, fundamenta su planta de tratamiento para la obtención de agua industrial, en filtros que reducen la turbidez y mejoran el color eliminando además desarrollos orgánicos y hierro insoluble, así como suavizadores de intercambio iónico que eliminan los iones calcio y magnesio entre otros.

3.1. Procesos de tratamiento para la obtención de agua industrial

3.1.1. Filtros

La filtración es un proceso en el cual las partículas sólidas que se encuentran en un fluido líquido se separan mediante un medio filtrante, que permite el paso del fluido a

su través, pero retiene las partículas sólidas suspendidas y coloidales presentes. [Lipessa, 1988]

El fluido atravesará el medio filtrante sólo cuando se le aplique una fuerza, que puede ser causada por la gravedad, la centrifugación o la aplicación de una presión sobre el fluido por encima del filtro o de un vacío debajo del mismo. Para remover las partículas adheridas, el lecho del filtro es fluidizado con agua en flujo ascendente en un proceso conocido como retrolavado. La Figura N° 7 muestra el filtro y sus componentes. [Lipessa, 1988]

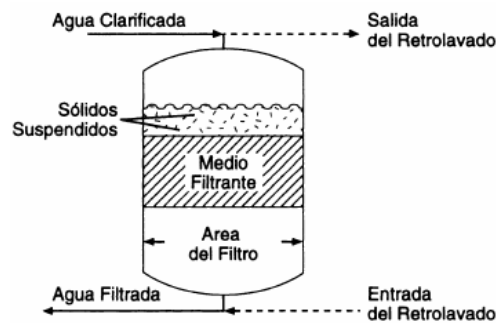


Figura N° 7. Filtro y sus componentes. (Fuente: Lipessa, 1988)

Los filtros que emplean material granular (generalmente arena) como medio filtrante, se pueden clasificar de acuerdo con la naturaleza de la fuerza que causa la filtración en: filtros de gravedad y de presión. Los filtros de presión son los más usados en la industria, la fuerza impulsora es mayor que la de gravedad, lo que permite más altos rendimientos de filtración. Tiene una serie de ventajas entre las que destacan su bajo costo de inversión, largas corridas en el filtro, seguridad total, caudal pequeño de agua en el retrolavado, simplicidad de manejo, ocupan poco espacio y pueden ser totalmente automatizados. [AWWA, 1989]

La operación de filtrado se continua hasta que los indicadores de pérdida de carga muestren que se deben retrolavar (generalmente 4-6 psi por encima de la caída de presión normal). Estos filtros pueden ser lavables sólo con agua o con una

combinación de agua y aire. Dado que generalmente se operan en baterías de dos o más unidades, el retrolavado se hace escalonadamente. [AWWA, 1989]

3.1.2. Suavizadores

La dureza del agua es el efecto causado por la acumulación de iones calcio y magnesio, en forma de sales solubles. Suele clasificarse según el ión presente en las sales; las sales solubles de calcio definen la dureza cálcica y las sales solubles de magnesio, la dureza magnésica; la dureza total es entonces la suma de los dos valores. [Nordel E., 1975]

El proceso de remoción o reducción de los iones causantes de la dureza se conoce como *ablandamiento de agua*. Un ablandador de agua o suavizador es una aplicación mecánica, conectada en un sistema de abastecimiento de agua, cuyo principio es retirar la dureza. El principal método para el ablandamiento del agua es el intercambio iónico. [Kemmer F., 1995]

El intercambio iónico es el paso reversible de iones entre un sólido (resina) y un líquido; los granos del sólido están cargados eléctricamente negativos (intercambiadores catiónicos) mientras que el calcio y el magnesio llevan cargas positivas. La utilidad de tal transferencia radica en la capacidad de volver a utilizar los materiales intercambiadores. Los intercambiadores catiónicos tienen una mayor afinidad por los cationes divalentes que por los monovalentes, por lo tanto, los iones de calcio y magnesio son intercambiados por un número equivalente de iones deseables (sodio o hidrógeno). [Kirk-Othmer, 1998]

Una resina es una macromolécula insoluble en agua, a la que están acoplados grupos de cargas funcionales. La clasificación de las resinas se basa en estos grupos ionizables; las resinas catiónicas son aquellas con grupos funcionales ácidos (p. ej. SO_3^-) y por tanto, son afines a los iones con carga positiva, las resinas aniónicas son

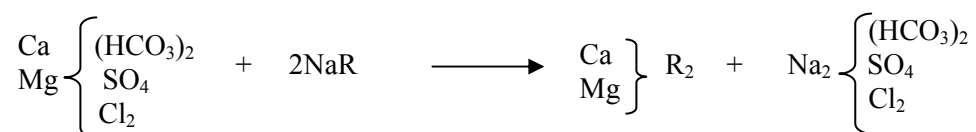
aquellas que poseen grupos funcionales básicos (p. ej. $N^+(CH_3)_3$) y son afines a los iones con carga negativa.

La resina tiene una capacidad limitada para almacenar iones en su esqueleto, llamada capacidad de intercambio; en virtud de esto, llegará a saturarse con iones indeseables, una vez agotada debe ser reactivada lavándola con una solución regeneradora. Cuando esto ocurre, la unidad es sacada temporalmente fuera de servicio y comienza un ciclo trifásico de regeneración: retrolavado, inyección del regenerante y enjuague.

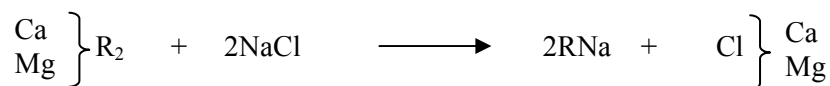
[Kemmer F., 1995]

Intercambio iónico ciclo sódico

En este tipo de ablandamiento el ión intercambiable es el sodio (Na^+) y elimina además de la dureza del agua, el hierro y el manganeso. Usando R para esquematizar la resina de intercambio, las reacciones de ablandamiento son:



La regeneración se efectúa tratando el lecho con una solución de cloruro de sodio (sal común), entonces se tiene la reacción química siguiente:



La ventaja del uso de sal es que generalmente es barata, tiene un peso molecular bajo y los productos formados por las reacciones son extremadamente solubles, por lo que pueden eliminarse fácilmente del lecho. [Nordel, E. 1975]

En la Figura N° 8 se muestra el esquema de un suavizador y sus componentes básicos.

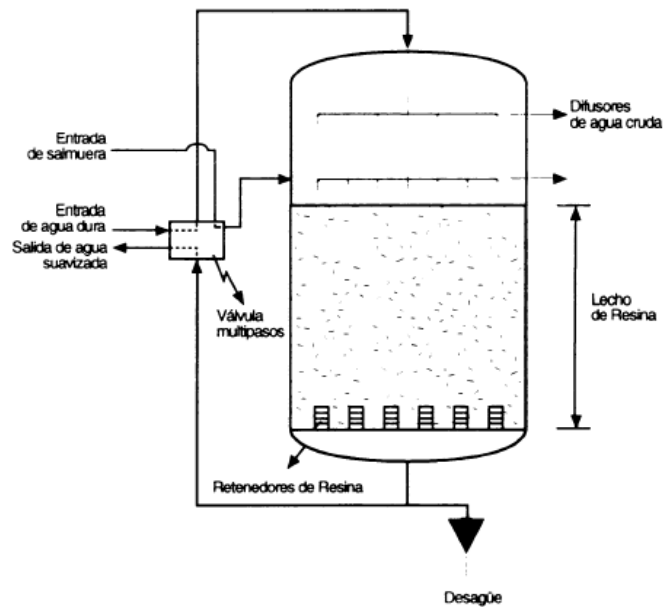


Figura N° 8. Esquema de un suavizador. (Fuente: Lipesa, 1988)

En la parte inferior del suavizador existe un sistema colector que sirve para extraer el agua blanda, distribuir el agua de retrolavado y eliminar la salmuera y los lavados. Durante el retrolavado se debe distribuir perfectamente toda el agua, de manera que ésta fluya uniformemente hacia arriba por todas las porciones del lecho; es muy importante este hecho para evitar acanalamientos.

Variables que afectan el funcionamiento de los suavizadores

A continuación se enumera una serie de factores que afectan la eficiencia de los suavizadores por intercambio iónico: [Nalco, 1986]

Análisis de agua- dureza total: si la dureza del agua a la salida de los suavizadores no es verificada constantemente, es posible que se realicen regeneraciones antes del periodo indicado.

Selección de la concentración del regenerante y flujo: la cantidad de sodio en la salmuera es equivalente a la cantidad de dureza a intercambiar o retirar, si se emplea una solución poco concentrada o un flujo pobre la regeneración no será eficiente.

Configuración de tanque - Altura del lecho, espacio de tanque libre: la relación diámetro-altura del lecho debe ser aproximadamente 1:1. Si el lecho es más alto que ancho, la resina superior ejerce presión sobre la inferior, generando daños físicos, además se obtienen peores resultados en el retrolavado porque se hace más difícil eliminar las impurezas de la resina superior.

Selección de resina - tamaño y función: la resina empleada debe ser la apropiada para el uso industrial, es preciso realizarle cada cierto tiempo análisis de laboratorio para detectar posible contaminación que amerite reemplazo. Seguir usando una resina contaminada mantiene o aumenta un consumo innecesario de regenerante.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL

A continuación se presenta una narrativa que describe el proceso de acondicionamiento de agua industrial y el proceso de acabado textil. Se destaca el recorrido de las corrientes de procesos y el paso por cada uno de los equipos de la planta. Al final de cada texto se presentan los planos correspondientes a las diferentes etapas del proceso.

1. Descripción del proceso de producción de agua industrial

El agua empleada para la generación de vapor y uso directo en el proceso textil, es obtenida de dos fuentes: Hidrocapital que abastece de agua tratada y dos pozos ubicados en la empresa que surten agua cruda. En la estación de bombeo “El Valle” se realiza la mezcla entre las dos fuentes de abastecimiento para alimentar de agua a la empresa. El agua de los pozos es llevada hacia los tanques amortiguadores TK-101A/B por la acción de las bombas P-101A/B; estos tanques también reciben el agua desde Hidrocapital.

Desde estos tanques e impulsado por las bombas P-102A/B el flujo de agua es transportado hacia los tanques de la colina TK-102A/B/C adjuntos a la planta, estos tres tanques se encuentran conectados entre sí mediante un arreglo de válvulas y tuberías que permite la siguiente distribución: uno de los tanques es destinado al sistema contra incendio, el segundo alimenta a la planta y el tercero se encuentra en reserva y la válvula que lo hace operativo se acciona cuando no se produce bombeo desde El Valle o cuando el tanque anterior se encuentra vacío. Desde el tanque de la colina que se encuentra operativo, se alimenta por gravedad al TK-103 cuya función es garantizar la succión de las bombas P-103A/B que transportan el agua hacia la

sección de tratamiento, adicionalmente el TK-103 es el recipiente receptor del agua de retorno de la planta.

Dentro de la “Sala de Caldera” se encuentra la sección de tratamiento de agua constituida por tres filtros de grava y cuatro suavizadores, el agua bombeada por P-103A/B es dividida antes de ingresar a los filtros F-101A/B/C en donde se retienen los sólidos suspendidos depositándose sobre la superficie del medio filtrante; luego de los filtros el volumen de agua resultante es dirigido en dos direcciones, la primera conduce al interior de los suavizadores S-101A/B/C/D en donde el agua en contacto con la resina catiónica se libera de los iones que causan la dureza.

El tren de suavizadores opera de la siguiente manera: uno de ellos genera el agua de alimentación a la caldera, otro se encuentra en proceso de regeneración y el efluente de los otros dos se mezcla con el agua filtrada que no es introducida a los suavizadores y la mezcla filtrada-suavizada es enviada al proceso productivo. El agua que fluye del suavizador que alimenta a la caldera es enviada al tanque de agua blanda TK-104, de donde es bombeada a la sección de blanqueo por la acción conjunta de la bomba P-105 y del tanque hidroneumático TK-106.

El suavizador que se encuentra en proceso de regeneración recibe además del agua filtrada un caudal de cloruro de sodio en solución (salmuera). El cloruro de sodio (sal) y parte del agua filtrada que no ingresa a los suavizadores son añadidos en el TK-107 para preparar la salmuera concentrada y por efecto de vasos comunicantes se prepara simultáneamente una solución diluida en el TK-108. Accionando la bomba P-106, la solución es llevada al tanque cónico TK-109 y de allí por presión de agua se envía la salmuera hacia el suavizador correspondiente. El agua empleada para impulsar la salmuera al suavizador es la porción de agua filtrada que emerge del F-101A.

Parte de la mezcla filtrada y suavizada que se dirige al proceso es almacenada en el tanque elevado TK-105, la otra parte es enviada directamente al proceso productivo.

Ama de Casa

F-102
Filtro de aire

K-101
Soplador

F-101 A/B/C
Filtros de grava
V= 12.3 m³

S-101 A/B/C/D
Suavizadores
V= 4.18 m³
V_{resina}= 2.9 m³

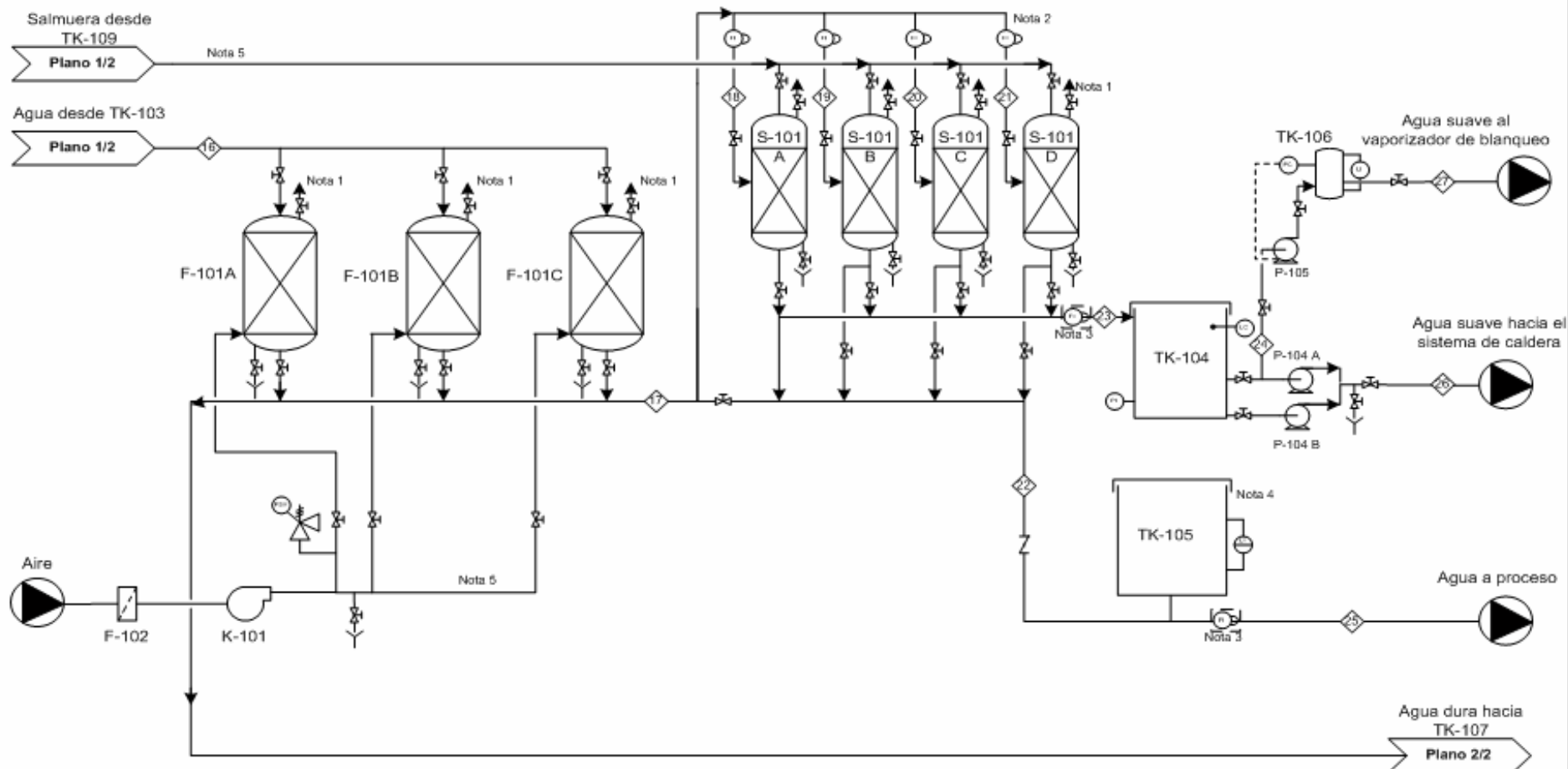
TK-104
Tanque
agua blanda
V= 120 m³

TK-105
Tanque
Elevado
V= 900 m³

P-104 A/B
Bomba
Centrífuga
Potencia=9 Hp

P-105
Bomba
Centrífuga
Potencia =2 Hp

TK-106
Tanque
Hidroneumático
V=2.9 x10⁻¹ m³



NOTAS:
1.- Purga de aire
2.- Contadores volumétricos
3.- Contador defectuoso
4.- Elevación de 30 m respecto al suelo
5.- Operativa solo durante la regeneración

FECHA:
Febrero 2006

DIBUJADO:
DÍAZ N. / CÓRDOBA J.

FECHA:
Febrero 2006

TÍTULO:
SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA SUAVE

SECCIÓN DE TRATAMIENTO DE
AGUAS Y GENERACIÓN DE VAPOR

Amadeo

REVISADO:
MOLINA A.

FECHA:
Marzo 2006

APROBADO:

FECHA:

ESCALA:
S/E

PROYECTO N°:

ARCHIVO N°:

PLANO N°:
2/2

DOCUMENTO N°:

REV:

C.A. TELARES DE PALO GRANDE
Zona Industrial Ruiz Pineda, Caracas. Telf.: (58-212) 403.3620
Fax: (58-212) 432.5092 Caracas, Venezuela. 0800-2623200



C.A TELARES DE PALO GRANDE

DPTO: INGENIERIA DE
PLANTA

Condiciones de las corrientes de proceso (*)

Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fracción de Vapor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Temperatura [°C]	25,0	25,0	27,0	28,0	35,0	45,0	30,0	34,0	20,0	28,0	28,0	28,0	25,0	26,0
Flujo Volumétrico [m³/h]	7,50	7,80	38,70	54,00	248,00	16,00	NNF (1)	65,00	----	11,00	9,10	1,90	1,90	15,90
Flujo másico [kg/h]	7500	7800	38700	54000	248000	16000	NNF (1)	65000	300 (3)	11000	9100	1900	1900	15900
Composición molar														
Agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,96
NaCl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,04

Nombre	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Fracción de Vapor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Temperatura [°C]	26,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	28,0	32,0	30,0	28,0	32,0	30,0	
Flujo Volumétrico [m³/h]	9,10	65,00	65,00	15,00	15,00	12,00	14,00	51,00	14,00	3,70	(2)	7,50	0,47	
Flujo másico [kg/h]	9100	65000	65000	15000	15000	12000	14000	51000	14000	3700	(2)	7500	470	
Composición molar														
Agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
NaCl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Notas:

1- NNF. Normalmente No Flujo. Sistemas de incendio

2- Medidor de flujo dañado

3- Flujo por cargas

2. Descripción del proceso de planta de acabado

La descripción de los procesos de acabado que se realizan en la C.A. Telares de Palo Grande se puede dividir en: descruce de hilo, blanqueo de tejidos, teñido de hilos, y teñido de tejidos de forma semi-continua y continua.

2.1. Descruce de hilos

Las bobinas de hilo son cargadas manualmente al portamaterial A-102. Simultáneamente se prepara el baño en el autoclave de hilos Sv-101 a condiciones de temperatura, entre 75 y 80 °C por medio del intercambiador E-101. Con la ayuda de la grúa transportadora X-101, el portamaterial A-102 es introducido en el autoclave Sv-101 luego de lo cual se añaden los químicos y se eleva la temperatura a 110 °C para que tengan lugar las reacciones de descruce. Se sella el autoclave para iniciar la circulación de la solución.

Los auxiliares necesarios son agregados en el tanque de químicos TK-101 (para no alterar las condiciones de proceso dentro del autoclave), allí se diluyen con el agua de proceso y la solución es circulada hacia el autoclave mediante el mecanismo de bombeo de P-102; por la acción de la bomba P-101 la solución es obligada a circular a través de la materia textil intercalando el sentido dentro-fuera o fuera-dentro durante todo el proceso. El objetivo de éste cambio de sentido es lograr un contacto más uniforme entre los aditivos químicos y el hilo.

Terminado el procedimiento de descruce, el portamateria A-102 es retirado y guiado con la grúa X-101 a un recipiente llamado suavizador-aspirador Sv-102. El calentamiento del Sv-102 se logra gracias a la inyección de vapor directo que se mezcla con el agua de proceso cuya circulación dentro del equipo se realiza por la acción de la bomba P-104. El sistema de succión de agua o aspirado tiene lugar en el tanques V-102 B, donde el líquido es extraído gracias a la succión producida

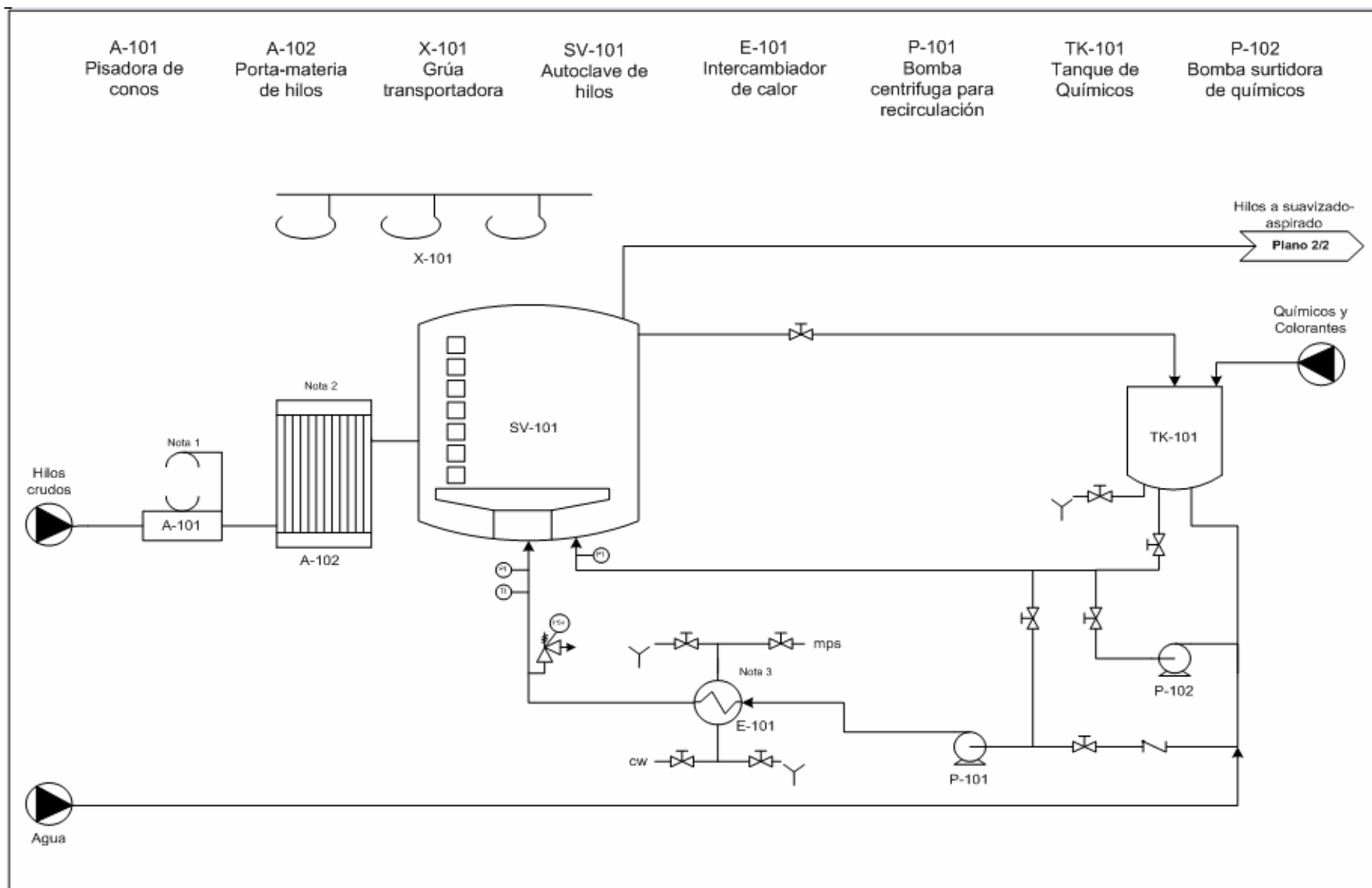
mediante la bomba P-103 y el pulmón almacenador V-101, generalmente a presiones cercanas al vacío absoluto.

De allí el material textil es conducido a la cámara de secado Sv-103, donde durante una hora los hilos son secados a 100 °C aproximadamente. El secado se efectúa con aire, el cual es comprimido en el K-101, almacenado en el V-104, filtrado y enfriado por la acción de los equipos F-101A y E-103 respectivamente y llevado a condiciones de operación en el K-102 y el E-104. Finalmente los hilos son descargados de la cámara de secado Sv-103 tomando una muestra para realizar el control de calidad, para regresarlos luego al departamento de preparación.

2.2. Teñido de hilos

El procedimiento para el teñido de hilos se realiza en los mismos equipos empleados para el descrude. Los conos de hilos son colocadas en la pisadora de conos A-101 que se encarga de compactar las esquinas ejerciendo presión horizontal sobre la bobina, de allí son cargados en el portamateria A-102 y éste, a través de la grúa X-101 es transportado a la autoclave Sv-101, donde previamente fue preparado un baño para el semi-descrude a una temperatura entre 75 y 80 °C, luego se añaden los químicos y el colorante dejándolo circular, finalmente la carga es lavada y neutralizada dentro del autoclave, suavizada en el Sv-102 y secada en la cámara Sv-103.

La cantidad de colorante es diluido y añadido al tanque TK-101. El volumen de agua utilizado en la dilución dentro del TK-101 se calcula a partir de la relación de baño y la solución extraída de la máquina Sv-101, debe ser equivalente a la agregada para no exceder la capacidad total del baño, sin embargo mediante el juego de válvulas que comunican ambos recipientes es posible extraer solución del Sv-101 y mediante la acción mecánica de la bomba P-102 reintroducirla al ciclo.



NOTAS:
 1.- Los hilos a ser teñidos que se encuentran en forma de bobinas son aplastados en sus extremos para mejorar la distribución de los mismos.
 2.- Portamaterias de hilos. Contiene en total son 297 bobinas.
 3.- Se puede requerir vapor de media presión para el calentamiento o agua para el enfriamiento.

FECHA:
Marzo 2006

DIBUJADO:
DÍAZ N. / CÓRDOBA J.

FECHA:
Enero 2006

TÍTULO:
AUTOCLAVE DE HILO

PLANTA DE ACABADO: DESCRUDE Y
TEÑIDO DE HILOS

REVISADO:
CHACÓN FERNANDO

FECHA:
Febrero 2006

ESCALA:
S/E

PROYECTO N°:

ARCHIVO N°:

APROBADO:

FECHA:

PLANO N°:

DOCUMENTO N°:

REV.



C.A. TELARES DE PALO GRANDE
 Zona Industrial Ruta Pineda, Caracas. Telf.: (58-212) 433.3620
 Fax: (58-212) 432.5892 Caracas, Venezuela. 9855-2623209

Ana de Casa

2.3. Blanqueo de tejidos

El plegador o portamateria PL-101 contiene arrolladas las toallas crudas que serán semi-blanqueadas. La primera de las toallas es unida a un cabezal de tela que las conduce por el tren de blanqueo. Luego que quedan unidas a la guía se enciende el motor acoplado al rodillo que impulsa el tejido a la batea de acumulación Ac-101, donde se almacenan para luego pasar a través de un rodillo que las dirige, en forma de cuerda a la torre de acumulación de la tina de impregnación A-101. La torre de acumulación le proporciona a las toallas el empuje o fuerza necesaria para que se sumerjan en la tina del A-101 asegurando así una buena impregnación.

La tina de impregnación mantiene su nivel gracias a la alimentación de tres tanques, el tanque de recirculación TK-101, el tanque de mezcla TK-102 y el tanque dispensador TK-103. El TK-101 se utiliza para recircular la fórmula de químicos; mediante el accionamiento de P-101 envía el líquido filtrado proveniente de la tina de impregnación al TK-102, el cual alimenta por gravedad al A-101.

En la cocina de químicos se prepara la solución que contiene la fórmula de blanqueo y la misma es transportada en el TK-104 al lugar físico del proceso, donde mediante la bomba P-102 es enviada al tanque TK-103 y diluida a su concentración final con agua de proceso. El TK-103 alimenta por gravedad al TK-102.

A la salida del fulard de la tina de impregnación A-101 el tejido es exprimido a través de dos cilindros paralelos que escurren el material. Luego las toallas son llevadas a un acumulador temporal Ac-102, donde reposan mientras son introducidas a la “J” de vaporizado E-101. El acumulador Ac-102 está a nivel del suelo y permite disponer el tejido de forma adecuada para la entrada al vaporizador proporcionando una acumulación de reserva entre la tina y el E-101 a fin de evitar tensiones al género textil.

El vaporizador E-101 tiene tres entradas de vapor a lo largo del recorrido del equipo, buscando mantener uniforme las condiciones de operación que favorecen las reacciones químicas en el blanqueo. El equipo emplea vapor saturado y por tanto tiene adjunto el saturador S-101. El S-101 tiene un controlador de temperatura que permite mantener el grado de saturación constante.

El flujo de vapor que ingresa al E-101 también es controlado sensando la presión a lo largo de la cámara. En la parte central del E-101 se encuentra la zona vertical donde el tejido permanece acumulado. A la salida del equipo, la toalla pasa al proceso de lavado a través de tres rodillos móviles. El tejido entra a la primera lavadora A-102A, donde se desplaza en forma de zig-zag por dos compartimientos a los cuales ingresa agua caliente. Al salir de la primera lavadora A-102A la toalla es exprimida entre dos rodillos.

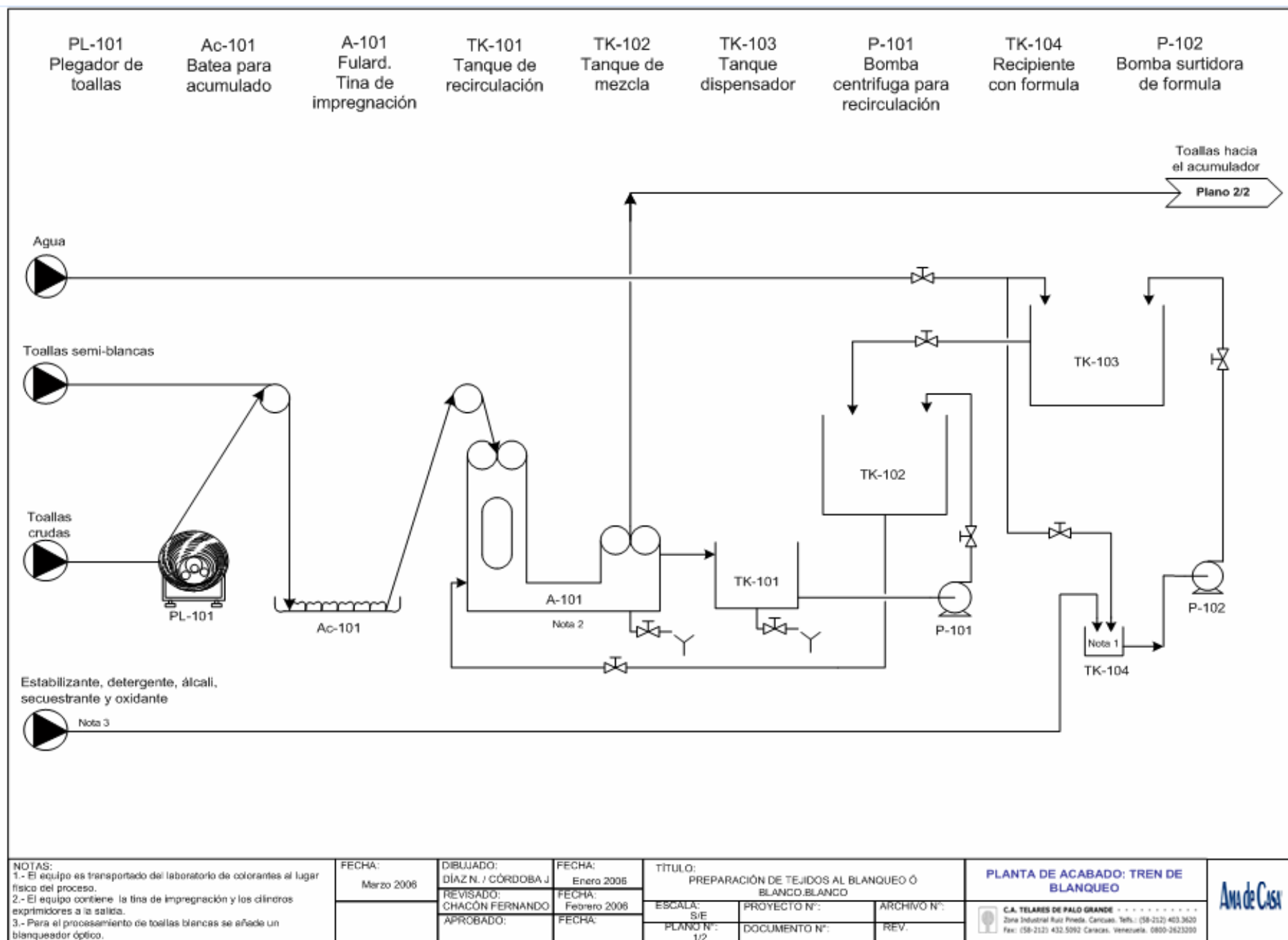
El textil entra a la segunda lavadora A-102B cuya función es enjuagar y neutralizar (agregando ácido acético desde el tanque TK-106), el producto lavado es exprimido y transportado por medio de un cilindro, guiando a las toallas a las fosas de acumulación Ac-103, donde son guardadas para el proceso siguiente de secado en el D-101. Sin embargo, previamente la toalla es humedecida uniformemente mediante un fulard con agua A-103, para que el secado sea homogéneo sin erosionar el textil, finalmente se realiza el control de calidad.

A la salida de la cámara de secado D-101, las toallas son arrolladas nuevamente en un plegador PL-102 y almacenadas para luego ser programadas para teñido o para banco-blanco. Las toallas semi-blanqueadas no son suavizadas.

2.4. Producción de toallas blancas (blanco-blanco)

Las toallas semi-blanqueadas destinadas a la producción de tejidos blancos son reenviadas al tren de blanqueo. En esta oportunidad la fórmula en el tanque TK-104 contiene el blanqueador óptico y los químicos auxiliares en menor concentración a las utilizadas en el semi-blanqueo.

El proceso se lleva a cabo de forma similar al anterior, sin embargo el tiempo de vaporizado es menor. Se hace necesario realizar un suavizado antes del secado para mejorar el tacto de las toallas, esto ocurre mediante el fulard A-104. El fulard de suavizado A-104 mantiene el nivel de su tina gracias a la dosificación que obtiene del tanque alimentador de suavizante TK-105 que suministra por gravedad la fórmula utilizada. Finalmente en el lavado no se hace necesario agregar neutralizante para controlar el pH.



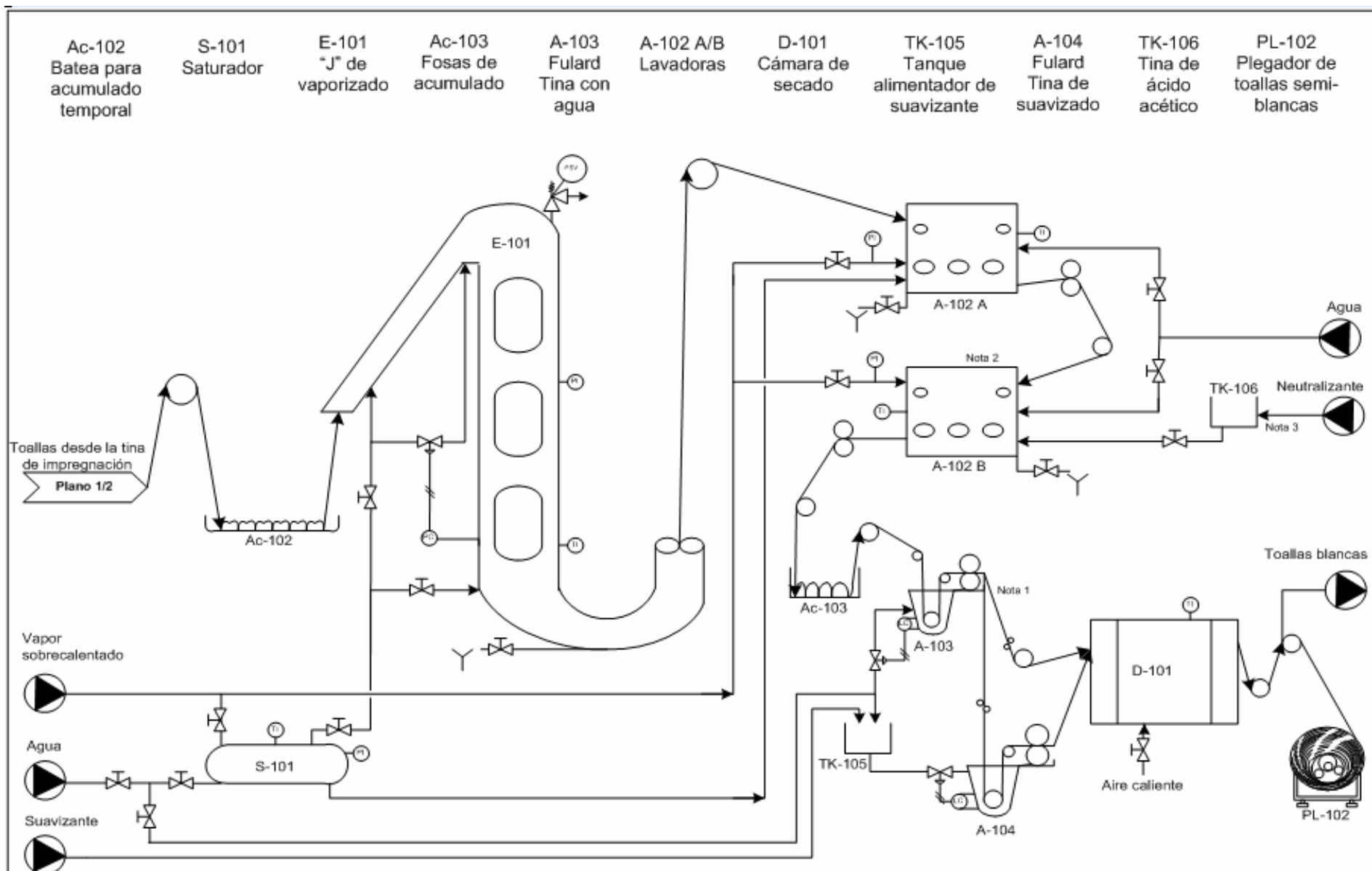
NOTAS:
 1.- El equipo es transportado del laboratorio de colorantes al lugar físico del proceso.
 2.- El equipo contiene la tina de impregnación y los cilindros exprimidores a la salida.
 3.- Para el procesamiento de toallas blancas se añade un blanqueador óptico.

FECHA:	DIBUJADO:	FECHA:
Marzo 2006	DÍAZ N. / CORDOBA J	Enero 2006
	REVISADO:	FECHA:
	CHACÓN FERNANDO	Febrero 2006
	APROBADO:	FECHA:

TÍTULO:		
PREPARACIÓN DE TEJIDOS AL BLANQUEO Ó BLANCO.BLANCO		
ESCALA:	PROYECTO N°:	ARCHIVO N°:
S/E		
PLANO N°:	DOCUMENTO N°:	REV.
1/2		

PLANTA DE ACABADO: TREN DE BLANQUEO
 C.A. TELARES DE PALO GRANDE
 Zona Industrial Ruta Pineda, Caracas, Vefh.: (58-212) 403.3620
 Fax: (58-212) 432.5092 Caracas, Venezuela. 0800-3623200





NOTAS:
 1.- Parte de los tejidos semi-blancos son destinadas a la producción de toallas blancas y reprocesadas nuevamente en el tren de blanqueo con formulación de químicos diferentes, incluyendo la etapa de suavizado previa al secado.
 2.- La 2da lavadora emplea agua fría.
 3.- No se añade en el proceso de blanco-blanco.

FECHA:
 Marzo 2008

DIBUJADO:
 DÍAZ N. / CÓRDOBA J
 REVISADO:
 CHACÓN FERNANDO
 APROBADO:

FECHA:
 Enero 2008
 FECHA:
 Febrero 2008
 FECHA:

TÍTULO:
 PROCESO DE VAPORIZADO, LAVADO, SUAVIZADO Y SECADO

ESCALA:
 S/E
 PLANO N°:
 2/2

PROYECTO N°:
 DOCUMENTO N°:

ARCHIVO N°:
 REV.

PLANTA DE ACABADO: TREN DE BLANQUEO

C.A. TELARES DE PALO GRANDE
 Zona Industrial Río Piedra, Caracas, Vefi.: (58-212) 403.3620
 Fax: (58-212) 432.5092 Caracas, Venezuela. 0800-2623200

Ama de Casa

2.5. Proceso de teñido continuo

El plegador PL-101 contiene arrolladas las toallas semi-blancas, la primera de ellas se une a un cabezal guía de tela que las conduce por el tren de teñido. Luego que las toallas quedan unidas a la guía se hacen pasar por la fosa de acumulación Ac-101, donde se almacenan con la finalidad de dar tiempo de cambiar de plegador una vez que se agote. Luego son dosificadas progresivamente a través del fulard A-101 que contiene la tina de impregnación de colorante. La solución de colorante es alimentada a la tina desde el tanque TK-101; el TK-102 se pone en servicio cuando la solución del primer tanque se agota.

Luego del exprimido en el fulard, el tejido debe tener contacto con el aire por unos 20 s, para ello atraviesa el puente de cilindro X-101 conocido como paso por aire, con el propósito de que el baño de colorante y la fibra se equilibren. De allí el tejido pasa a través del fulard A-102 que contiene la tina de químicos, la cual presenta un porcentaje de impregnación mayor al anterior (120% aprox.), para asegurar que la fibra absorba suficiente baño reductivo asegurando la reacción química.

La tina de químicos es alimentada por gravedad con la fórmula contenida en el tanque de reducción TK-103. Luego de la etapa de reducción, el tejido debe pasar al proceso de fijación del colorante, para ello atraviesa la cámara de vaporizado E-101 por donde circula vapor saturado. En la parte interior del E-101 se encuentra una serie de cilindros alineados de manera horizontal en la parte superior e inferior de la cámara, garantizando que todas las toallas entren en forma continua y cumplan con el tiempo requerido.

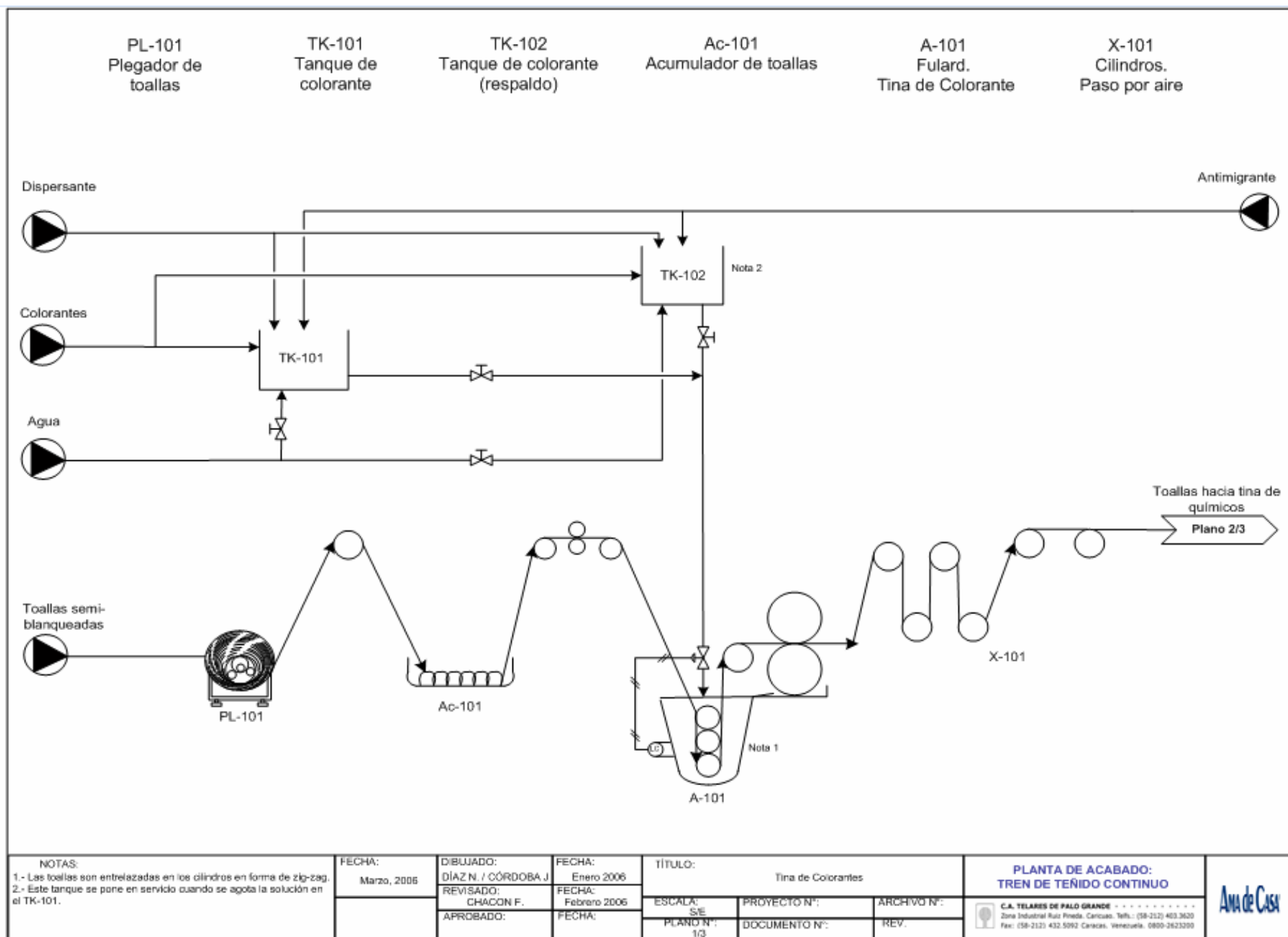
A la salida de la cámara, el tejido pasa a la tina de aclaración TK-104 en donde es sumergido en un baño de agua pura a temperatura ambiente. En el interior de éste recipiente están ubicadas dos hileras de cilindros en paralelo que obligan a las toallas

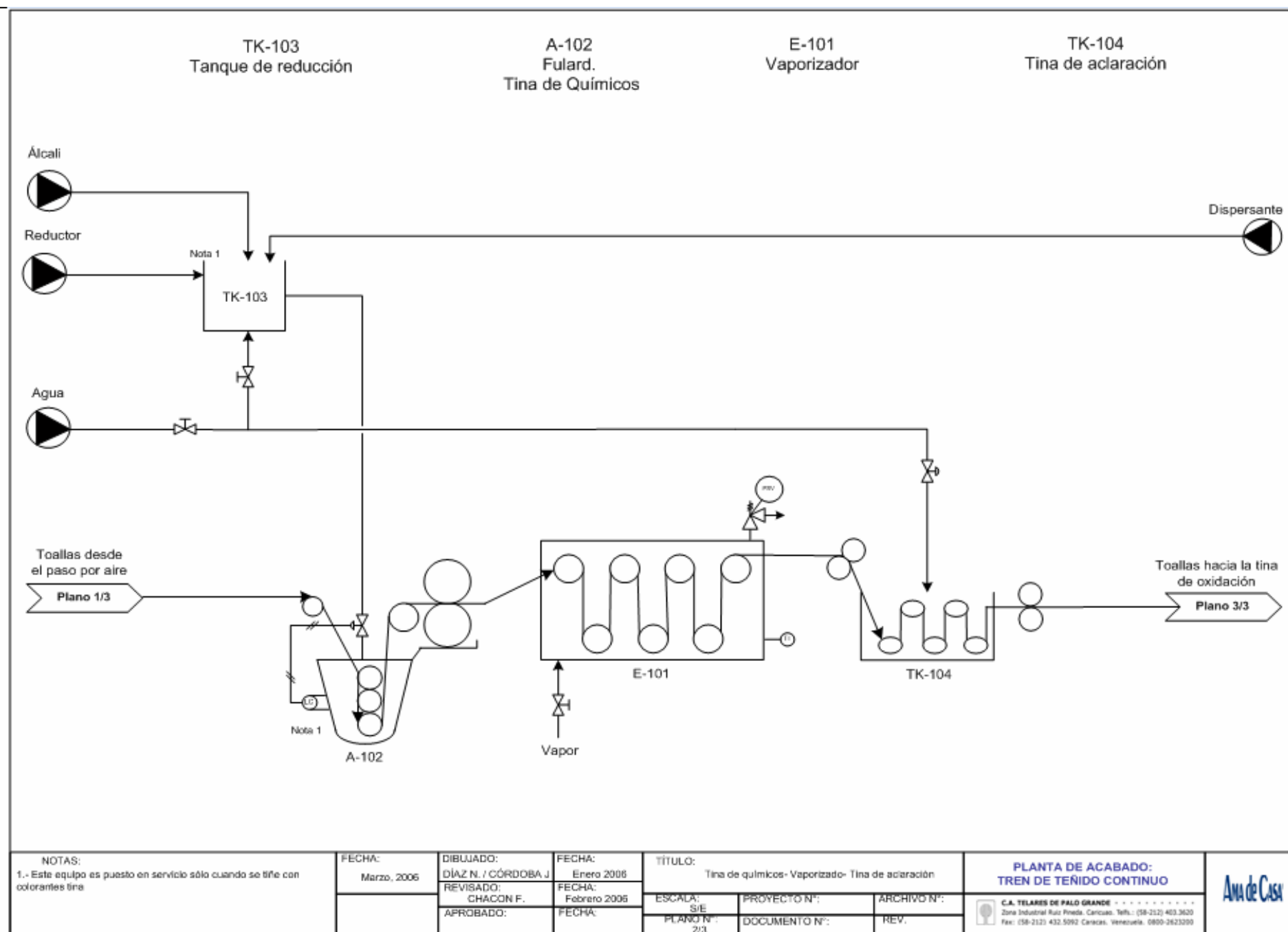
a pasar varias veces por el agua. El objetivo principal de esta tina es bajar el pH y eliminar el exceso de reductivo antes de pasar a la siguiente fase.

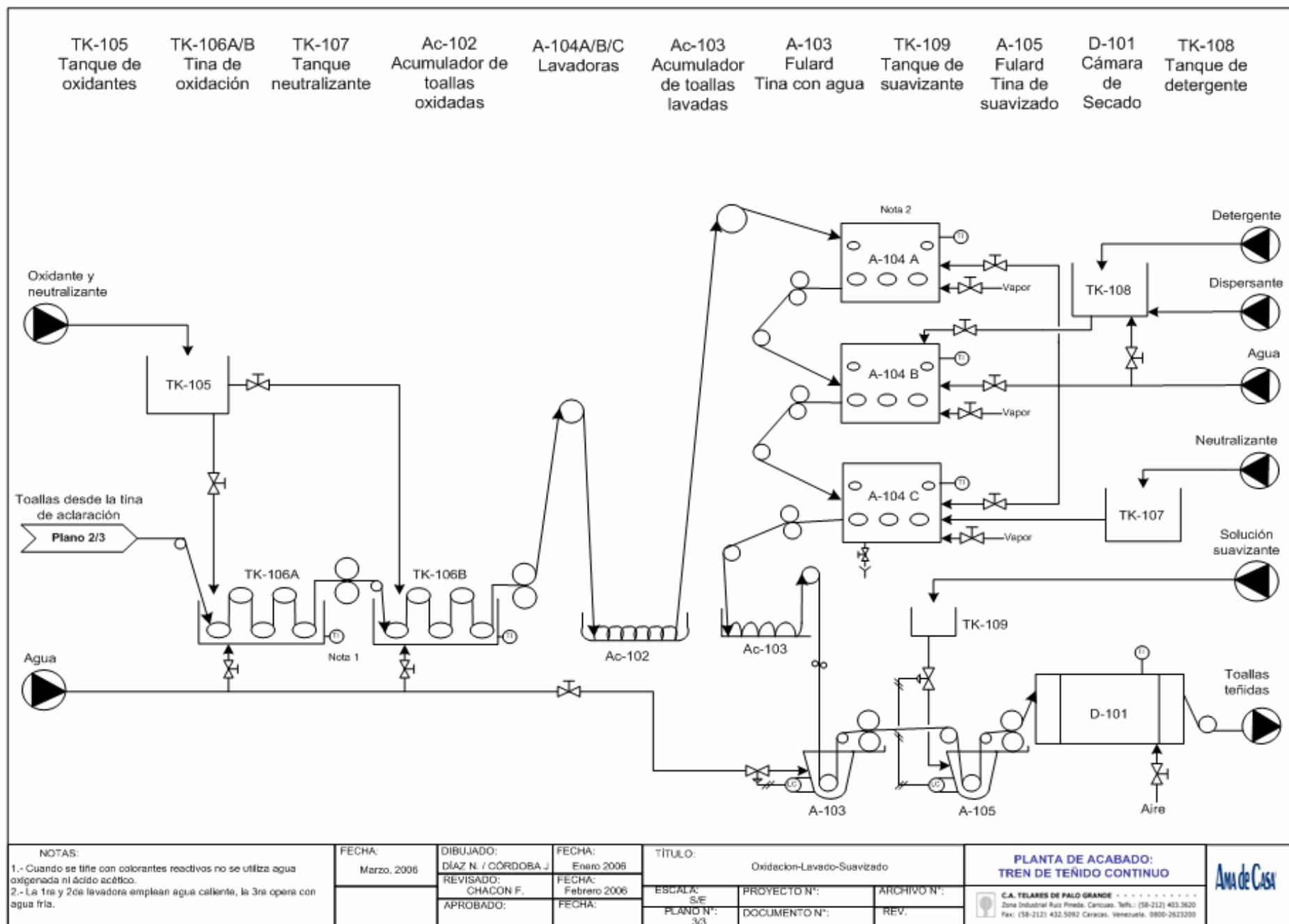
El cabezal guía al tejido hacia las tinas de oxidación TK-106A/B que contienen agua oxigenada y ácido acético alimentados desde el TK-105. Su objetivo es oxidar el colorante absorbido por la fibra para que quede atrapado dentro de ésta. Luego de la oxidación las toallas son depositadas en Ac-102 desde el cual son transportadas al tren de lavadoras A-104A/B/C.

El interior de las lavadoras A-104A/B/C está dividido en dos compartimientos que se comunican por el principio de vasos comunicantes. El flujo de agua y vapor entra a las lavadoras en contracorriente respecto a las toallas. Las lavadoras A-104A y A-104B son usadas para eliminar el exceso de colorante y residuos químicos en la toalla empleando agua caliente y la lavadora A-104C tiene por finalidad realizar el enjuague de las mismas con agua fría y recibe el neutralizante desde el tanque TK-107. La lavadora A-104B recibe además de agua el detergente y el dispersante desde el tanque TK-108.

El producto lavado es enviado a las fosas de acumulación Ac-103 y de allí guiado al fulard A-103 que contiene agua y luego al fulard A-105 que contiene la tina de suavizado. Finalmente el tejido entra a la cámara de secado por aire caliente D-101 para luego ser almacenados en carros que serán enviados al proceso de confección.





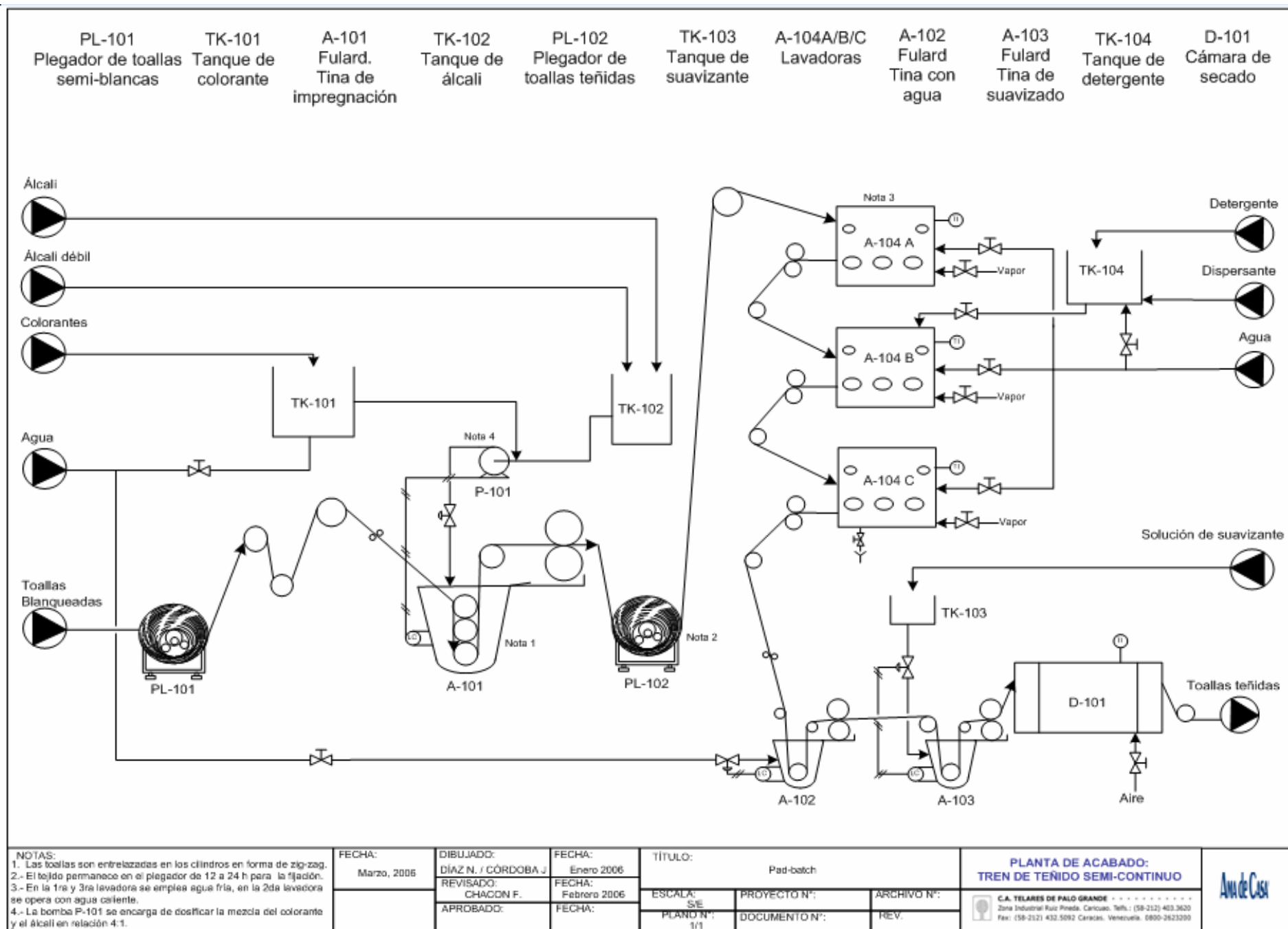


2.6. Proceso de teñido semi-continuo

En el proceso de teñido semi-continuo (Pad-Batch) el plegador PL-101 que contiene las toallas semi-blancas es enhebrado en el cabezal que guía al tejido a lo largo del tren de teñido. Para comenzar las toallas son llevadas a la tina de impregnación de colorante A-101 pasando en el interior de ésta a todo lo ancho, asegurando una absorción uniforme. La tina A-101 es preparada agregando una mezcla de colorante reactivo y álcali, los cuales son dosificados mediante la bomba P-101 que los mantiene en una relación 4:1 asegurando un pH entre 11 y 12. El colorante es alimentado desde el TK-101 y el álcali desde el TK-102.

Luego de la tina el tejido entra a los cilindros exprimidores cuya finalidad es escurrir todo el exceso de colorante de la toalla y conducir a las mismas al plegador PL-102. El plegador PL-102 es envuelto herméticamente con un plástico para el proceso de fijación evitando la entrada de cualquier agente externo que afecte la reacción química. Se deja el plegador PL-102 en bancos especiales donde gira lentamente durante un tiempo que varia según el tipo de álcali y colorante utilizado, generalmente de 12 a 24 h.

Luego de la etapa de fijación el plegador PL-102 es guiado al proceso de lavado, suavizado y secado explicado para el teñido continuo. El tejido ingresa a las lavadoras A-104A/B/C, luego a la tina de agua A-102 y luego a la de suavizado en A-103 y finalmente a la etapa de secado en la cámara D-101.



CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

A continuación se detallan cada una de las fases experimentales que hicieron posible el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo de investigación.

1. Revisión bibliográfica

En esta etapa se reunió toda la información necesaria para el desarrollo del proyecto. Los aspectos estudiados fueron:

- Fundamentos del tratamiento de aguas y métodos para la caracterización de aguas industriales.
- Funcionamiento de los equipos involucrados en la producción de agua para consumo industrial. Fundamentos de la dureza del agua. Causas y consecuencias.
- Fundamentos de la industria textil. Procesos de acabado para hilos y tejidos. Calidad del agua en la industria textil.
- Normas de control de calidad para productos textiles.

2. Evaluación del proceso industrial y elaboración de diagramas de proceso

Planta de acabado: en cada proceso realizado en la planta de acabado, se hizo necesario conocer las condiciones de operación tales como: temperatura, presión, tiempo de operación, tipo, cantidad y concentración de aditivos químicos, pH, etc., así como conocer y/o establecer las pruebas de control de calidad textil que se aplican durante cada etapa de acabado. La elaboración de los diagramas de proceso se realizaron bajo las normas PDVSA, ^[PDVSA, 1991] sin embargo, algunos equipos no

contemplados en esta normativa, fueron dibujados a partir de simbología propia de la empresa. Los procesos evaluados fueron:

- Descrude y teñido de hilo.
- Blanqueo y teñido de tejido, este último incluye la producción de tejidos a color y blancos. En el teñido a color se tiene la tintura en forma continua, semi-continua y por agotamiento. El teñido por agotamiento es una nueva tecnología dentro de la empresa y por tanto se evaluaron las condiciones de proceso bajo las cuales se debió operar.

Planta de tratamiento de agua industrial: en esta etapa se realizó un levantamiento de las condiciones actuales en las que se obtiene el agua industrial en la sección “Sala de Calderas”. Se hizo una descripción detallada a través de diagramas de proceso (usando simbología técnica bajo las normas PDVSA.) de cada uno de los pasos del tratamiento del agua industrial (caudales, temperatura, volúmenes, etc.). Se hace necesario mencionar que el 80% de la Sala de Calderas no cuenta con instrumentos de medición que facilitaran la ejecución de esta etapa; se plantearon por tanto las sugerencias para la implementación de tales equipos.

3. Impacto de las características físico-químicas del agua en las etapas del proceso de acabado

3.1. Caracterización físico-química de las fuentes de abastecimiento de agua

Se caracterizaron cinco puntos de control: **(a)** pozo 1, **(b)** pozo 2, **(c)** Hidrocapital, **(d)** mezcla de alimentación a la planta de tratamiento y **(e)** entrega al proceso productivo, haciendo análisis de dureza, alcalinidad, pH, turbidez, hierro y manganeso, con la finalidad de determinar su variación y establecer cual de ellos se encuentra fuera de los valores permitidos para la industria textil. Los ensayos se realizaron según los métodos especificados en los Métodos Estándar: 2340C para la Dureza, 2320B para

la Alcalinidad, 4500H⁺ para el pH, 2130B para la turbidez, 3500Fe para el Hierro y 3500Mn para el Manganeseo. Esta caracterización permitió además, establecer los valores de dureza que se emplearon para las operaciones del proceso de acabado a escala de laboratorio. [Standard Methods, 1998]

El rango de los valores de dureza usados en la evaluación de los procesos de acabado se encuentra entre 0 y la dureza más alta obtenida de una de las tres fuentes de abastecimiento (240 mg/l). Este rango incluyó: **(a)** 40 mg/l debido a que la estabilidad de los colorantes generalmente se logra para valores de hasta 50 mg/l, **(b)** 120 mg/l, correspondiente a la dureza promedio de la mezcla de alimentación a planta de tratamiento y **(c)** 80 mg/l para completar el barrido entre 40 mg/l y 120 mg/l, se sabe además que el lavado se ve favorecido con aguas moderadamente duras (75-150 mg/l).

3.2. Análisis de los efectos de la dureza en la calidad del producto

Esta etapa inició con la determinación de las unidades de segunda generadas en la planta de acabado. Para establecer la premisa de la influencia de la dureza del agua en el proceso, se estableció la correlación de las unidades defectuosas en función de los niveles de dureza reportados para la misma fecha. Así mismo, se establecieron los colores a utilizar en los diferentes procesos de teñido, con base en las características propias del proceso y a las estadísticas de producción de segunda (indicativo de la dificultad presentada por el color dentro de la tintura).

Una vez conocido el proceso industrial, la posible influencia de la dureza del agua y el rango de dureza a abarcar, se estableció el programa de muestreo representativo a escala de laboratorio, haciendo uso de los equipos, acondicionados o no, que se encontraban en el laboratorio textil de la empresa. Los ensayos se realizaron tres veces para la reproducibilidad de los resultados obtenidos.

Una vez procesadas las muestras, se analizaron utilizando parámetros de control de calidad textil propios de cada etapa del proceso, con la finalidad de evaluar su eficiencia. Se establecieron por parte de la empresa un conjunto de valores estándar para las operaciones, que permitieron seleccionar como aceptables aquellas muestras que más se acercaran a él, dentro de una tolerancia establecida.

La Tabla N° 1 muestra un resumen de los procesos que se realizaron a escala de laboratorio. Los ensayos se dividen en dos fases: **(a)** procesamiento de hilos y **(b)** procesamiento de tejidos. A continuación se desglosan las etapas de acabado realizadas resaltando las condiciones de proceso y el número de muestras empleadas.

Tabla N° 1. Operaciones de acabado a escala de laboratorio

Fase	Operación	N° de muestras	Etapas	Pruebas de control de calidad
Hilos	Descrude	30	•Preparación de la fórmula •Impregnación •Lavado •Neutralizado •Suavizado •Secado	•Contenido de dureza en la tela •pH del hilo
	Teñido	30	•Preparación de la fórmula •Semi-descrude •Coloración •Agotamiento •Lavado-neutralización •Suavizado •Secado	• Solidez al blanqueo • Validación del color

Tabla N° 1. Operaciones de acabado a escala de laboratorio. Cont.

Fase	Operación	N° de muestras	Etapas	Pruebas de control de calidad
Tejidos	Blanqueo	105	•Preparación de la fórmula •Impregnación •Fulardado •Vaporizado •Lavado •Secado	• Contenido de dureza en la tela •Grado de blanco •pH de la tela •Hidrofilidad • Contenido de almidón • Resistencia a la tensión.
	Blanco-Blanco	30	•Preparación de la fórmula •Impregnación •Fulardado •Vaporizado •Lavado •Suavizado-Secado	•Contenido de dureza en la tela •Grado de blanco •pH de la tela •Hidrofilidad •Resistencia a la tensión
	Teñido semi-continuo	15	•Preparación de la fórmula •Impregnación •Fulardado •Fijación •Lavado •Suavizado-Secado	•Solidez al lavado •Solidez al frote •Hidrofilidad •Validación del color
	Teñido continuo	15	•Preparación de la fórmula •Impregnación con colorantes •Fulardado •Aireación •Impregnación con químicos •Fulardado •Vaporizado •Tina de aclaración •Oxidación 1 •Oxidación 2 •Lavado •Fulardado •Suavizado-Secado	•Solidez al lavado •Solidez al frote •Hidrofilidad •Validación del color
	Teñido por agotamiento	15	•Impregnación de auxiliares •Coloración •Agotamiento •Impregnación con álcali •Lavado-Neutralizado •Suavizado-Secado	•Solidez al lavado •Solidez al frote •Hidrofilidad •Escala de grises •Validación del color

3.2.1. Hilos

Los hilados se procesan para generar dos productos diferentes, tal como se muestra en la Figura N° 9.

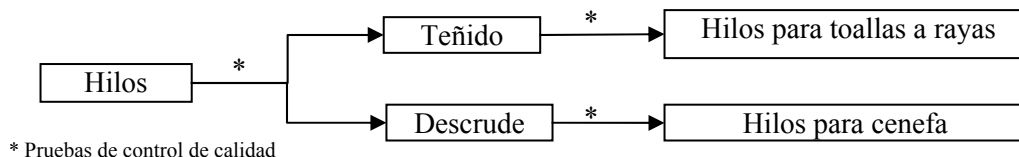


Figura N° 9. Procesamiento de hilos

Para estos ensayos se hizo necesaria la selección de bobinas de hilo crudo, de un cabo (hebra) para el teñido y de dos cabos para el descrude, tomando de ellas una porción para formar la madeja de prueba; el peso de la muestra y la relación de baño fijada determinó el volumen de agua utilizado. En total fueron necesarias cuatro (4) bobinas de hilado (2 para teñido y 2 para descrude), de donde se extrajeron 30 madejas para cada proceso.

El laundry-Ometer (ver Figura N° 10) fue el equipo mediante el cual se pudo simular las condiciones de teñido y descrude en el laboratorio, con una duración de 5 h/muestra y un consumo de agua no mayor a 5 l/muestra. La Tabla N° 2 muestra un aproximado del consumo de agua.

Tabla N° 2. Consumo total de agua en el procesamiento de hilos

Proceso	Volumen (l)
Teñido	15
Descrude	15
Consumo total por dureza	30
Consumo Total	150

El consumo total de agua por dureza permitió conocer el volumen que se extrajo o acondicionó en la planta de tratamiento de agua industrial, al momento de realizar las pruebas.



Figura N° 10. Launder-Ometer. (Fuente T.P.G.)

Para caracterizar el hilo crudo se evaluó el contenido de dureza en el hilo. La dureza del hilo fue extraída, sometiendo la madeja a ebullición sobre agua destilada, determinando posteriormente, la dureza del extracto por titulación según el ensayo N° 2340C de los Métodos Estándar. [Standard Methods, 1998]

3.2.1.1. Descrude

Durante la preparación de la fórmula se dispusieron los químicos necesarios (en función de los litros de agua presentes en el baño), siguiendo las concentraciones especificadas en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Químicos empleados en el descrude de hilos

Químico	Función	Concentración (ml/l)
Allperse 8	Detergente-Dispersante	1,041
Soda cáustica 50° Bé	Alcali	10,0
Tensocar EXP	Detergente	1,458
Ácido acético	Neutralizante	0,8
Pomolube R 72 S	Suavizante	3%

La muestra de hilo fue pesada, en función de este peso se obtuvo la relación de baño y según ésta quedó determinada la cantidad necesaria de químicos. La Tabla N° 4 muestra la descripción del resto de las etapas de descrude de hilos.

Tabla N° 4. Procedimiento de las etapas del descruce de hilos

Etapas	Descripción
Impregnación	• Se preparó el baño en la máquina a 75-80 °C • Se adicionó el tensocar y soda cáustica • Se subió la temperatura a 110 °C y se mantuvo por 120 min Luego se enfrió a 80 °C y botó el baño
Lavado	• El recipiente que contenía la muestra fue llenado para lavar a 100 °C por 20 min • Se substituyó el baño anterior y se procedió a lavar durante 15 min
Neutralización	• Se procedió a sustituir el baño por otro de agua fría. • Se agregó ácido acético, incrementando la temperatura a 40 °C. y haciendo circular el baño por 12 min
Suavizado	• Se añadió el suavizante permitiendo su circulación por 30 min
Secado	• Se descargó el baño, y seguidamente se aspiró la muestra para someterla al secado en la estufa, por 15 min a 150 °C
Control de calidad	• Contenido de dureza en el hilo • pH del hilo

3.2.1.2. Teñido de hilos

Durante la preparación de los colorantes y auxiliares se midieron las cantidades necesarias de los diferentes colorantes y auxiliares según los datos presentados en la Tabla N° 5 y la Tabla 6.

Tabla N° 5. Químicos empleados en la tintura de hilos

Químico	Función	Concentración (ml/l)
Allperse 8	Dispersante	2
Soda cáustica 50° Bé	Álcali	2
Tricar P.	Secuestrante	3
Soda cáustica 50° Bé	Álcali	8,6
Tonal ALG	Igualizante	0,8
Hidrosulfito de sodio	Reductor	4 g/l
Hidrosulfito de sodio	Reductor	4g/l
Agua oxigenada 50%	Oxidante	1,6
Allperse 8	Detergente-Dispersante	0,8
Ácido acético	Neutralizante	0,3
Pomolube R 72 S	Suavizante	3 %

Tabla N° 6. Colorantes empleados en la tintura de hilos

Colorante (Cayena)	Concentración (%)
Amarillo domanthrene G.C	0,085
Rojo domanthrene FBB	0,234

La cantidad de colorante empleado se determinó a partir del porcentaje presentado en la tabla anterior y el peso de la muestra a teñir mediante la fórmula siguiente:

$$g = \frac{\%Color * g.muestra}{100\%}$$

La dilución de los colorantes y demás químicos dependió de la relación de baño utilizada que fue 1:20, es decir, si la muestra pesaba 1 g se emplearon 20 ml de agua. La Tabla N° 7 muestra la descripción del resto de las etapas del teñido de hilos.

Tabla N° 7. Procedimiento de las etapas del teñido de hilos

Etapas	Descripción
Semi-descrude	- Se preparó el baño en la máquina a 75-80 °C - Se adicionó el allperse 8, la soda cáustica y el tricar P - Se subió la temperatura a 105 °C y se hizo permanecer por 20 min. Luego se enfrió a 80 °C
Coloración	- Se adicionó el colorante haciéndolo circular por 10 min. - Se adicionó y dejó circular por 10 min, el resto de soda líquida y el tonal ALG.
Agotamiento	- Se agregó la 1ra parte de hidrosulfito de sodio, dejándolo circular por 10 min a 80 °C - Se sumó la 2da parte de hidrosulfito de sodio dejándolo circular por 30 min a 80 °C - Se bajó la temperatura a 60 °C - Se substituyó el baño por uno nuevo
Lavado-Neutralización	- El baño anterior fue llevado a 50 °C. para posteriormente agregar agua oxigenada y dejarla circulando por 15 min - Nuevamente el baño fue substituido para jabonar con allperse 8 a 90 °C por 15 min - Se cambió el baño anterior por uno de agua fría - Se agregó el ácido acético subiendo la temperatura a 40 °C por 10 min
Suavizado	Finalmente la muestra fue suavizada al hacer circular el pomolube por 30 min

Tabla N° 7. Procedimiento de las etapas del teñido de hilos. Cont.

Etapa	Descripción
Secado	Se descargó el baño y seguidamente se aspiró la muestra para someterla al secado en la estufa, por 15 min a 150 °C
Control de calidad	- Solidez al blanqueo, según COVENIN ^[COVENIN 856, 1976] - Validación del color

3.2.2. Tejido

Las fibras tejidas se procesaron tal como se muestra en la Figura N° 11.

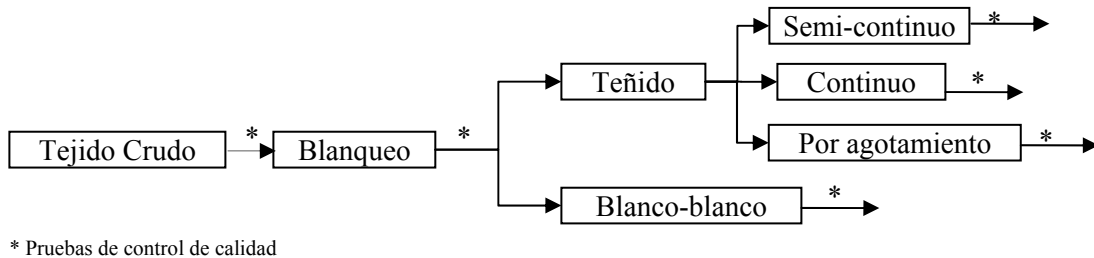


Figura N° 11. Procesamiento de tejidos

Para el ensayo se tomó en cuenta que sólo existía la posibilidad de generar un solo tipo de agua, es decir, la planta está en capacidad de producir un valor de dureza que favorezca a la mayoría de los procesos a realizar, por esto, al blanquear una muestra de tejido con un valor de dureza D_1 , se procedió en la siguiente fase del proceso, por ejemplo teñido continuo, con una dureza similar D_1 . Además de las muestras requeridas para los ensayos, se añadieron las necesarias para el control de calidad posterior. La Figura N° 12 refiere la distribución mencionada:

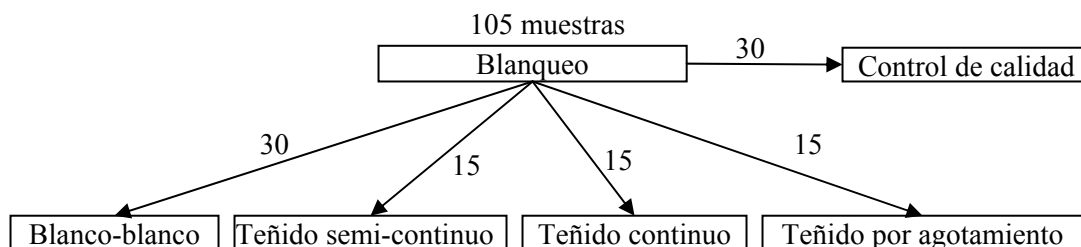


Figura N° 12. Distribución de las muestras en las operaciones de acabado de tejidos

Las muestras utilizadas en el teñido y el blanqueo fueron de 30 cm de largo x 15 cm de ancho, esto para satisfacer requerimientos de los equipos, garantizando a la vez el material necesario para las pruebas de control de calidad del teñido. Por su parte las muestras destinadas al proceso de blanco-blanco fueron de 18 cm de largo x 11 cm de ancho. Sabiendo que las dimensiones estándar de una toalla de baño “Classic” son de 133 cm de largo x 66 cm de ancho, se necesitaron 6 toallas para obtener las 105 muestras. Para las pruebas preliminares de control de calidad se seleccionó una toalla adicional. La Tabla N° 8 indica el número de muestras de acuerdo al valor de dureza bajo la cual fueron ensayadas.

Tabla N° 8. Distribución de las muestras de tejido según el valor de dureza

Muestras	Dureza (mg/l)
21	0
21	40
21	80
21	120
21	240
Total: 105 muestras	

El consumo de agua fue calculado tomando en cuenta el procedimiento a seguir en cada etapa del proceso. La Tabla N° 9 muestra el consumo de agua.

Tabla N° 9. Consumo total de agua en el procesamiento de tejidos

Proceso (Volumen / muestra)	Volumen (l/dureza)	Volumen (l)
Blanqueo (2,5 l/muestra)	52,5	262,5
Blanco-blanco (2,5 l/muestra)	15	75
Continuo (10 l/muestra)	30	150
Semi-continuo (5 l/muestra)	15	75
Agotamiento (5 l/muestra)	15	75
Consumo Total	127,5	637,5

Para caracterizar el tejido crudo y comparar las condiciones iniciales del sustrato con las obtenidas luego de procesadas, se realizaron las siguientes pruebas de control de calidad textil:

- Resistencia a la tensión (trama y urdimbre), según la COVENIN ^[COVENIN 517, 1984]
- Contenido de almidón, según la norma Basf ^[BASF, 1967]
- Contenido de dureza en la tela.

3.2.2.1. Blanqueo

El blanqueo tuvo una duración de 3 h/muestra sin incluir las pruebas de control de calidad textil. El fulard fue uno de los principales equipos disponibles en el laboratorio para la simulación de esta etapa, el mismo se muestra en la Figura N° 13.



Figura N° 13. Fulard para la impregnación de químicos y colorantes. (Fuente T.P.G.)

Para iniciar el proceso se preparó la fórmula donde se midieron las cantidades necesarias de los diferentes aditivos químicos según los datos presentados en la Tabla N° 10.

Tabla N° 10. Químicos empleados en el blanqueo de tejidos

Químico	Función	Concentración (ml/l)
Silicato de sodio 38° Bé	Estabilizante	3,615
Detercar ECO	Secuestrante	3,846
Tensocar EXP	Detergente	3,077
Soda Cáustica 50° Bé	Álcali	17,70
Agua Oxigenada 50%	Oxidante	36,90

Los químicos se mezclaron con un poco de agua en el siguiente orden: silicato, soda, detercar, tensocar, dejando reposar por 5 min. Luego se agregó agua oxigenada y se completó con agua hasta el volumen deseado. Finalmente se dejó reposar la solución por 15 min. La Tabla N° 11 muestra la descripción del resto de las etapas del blanqueo.

Tabla N° 11. Procedimiento de las etapas del blanqueo de tejidos

Etapas	Descripción
Impregnación	• Duración: 5-6 s • pH de la tina: 11-12
Fulardado	• Porcentaje de impregnación: 200%
Vaporizado	• Duración: 45 min. (máx. 80 min.) • Vapor saturado a 95 °C
Lavado	• Se realizaron cuatro lavados. El 1ro y el 2do a 80 °C y el 3ro a 50 °C con una duración de 120 s cada uno • Se procedió a neutralizar con ácido acético (0,5 ml/l) en el 4to baño a temperatura ambiente con una duración de 120 s
Secado	• La duración fue de 15 min a una temperatura de 150 °C en la estufa
Control de calidad	• Contenido de dureza en la tela • pH de la tela • Grado de blanco, según la norma AATCC 110 [AATCC, 1992] • Hidrofilidad, según la norma AATCC 79 [AATCC, 1992] • Contenido de almidón, según la Basf [BASF, 1967] • Resistencia a la tensión según COVENIN [COVENIN 517, 1984]

Para realizar el vaporizado se utilizó el equipo construido con el fin de reproducir las condiciones de proceso.

3.2.2.2. Blanco-Blanco

Esta etapa de acabado tuvo una duración 1,5 h/muestra sin incluir las pruebas de control de calidad textil. El vaporizado, fulardado y secado de esta etapa se realizaron en condiciones similares a las utilizadas en el blanqueo.

En la preparación de la fórmula se midieron las cantidades necesarias de los diferentes aditivos químicos según los datos presentados en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12. Químicos empleados en la preparación de tejidos blancos

Químico	Función	Concentración(ml/l)
Silicato de sodio 38° Bé	Estabilizante	1,846
Detercar ECO	Secuestrante	2,308
Tensocar EXP	Detergente	0,769
Soda Cáustica 50° Bé	Álcali	7,307
Agua Oxigenada 50%	Oxidante	17,690
Neucoblanc TM/MA	Blanqueador óptico	3,800

Se mezclaron los químicos con un poco de agua siguiendo el mismo orden que en el blanqueo. Posteriormente se agregó agua oxigenada, neucoblanc y se completó con agua hasta el volumen deseado. Finalmente se dejó reposar por 15 min. La Tabla N° 13 muestra la descripción del resto de las etapas de producción de toallas blancas.

Tabla N° 13. Procedimiento de las etapas de blanco-blanco

Etapas	Descripción
Impregnación	- Duración: 5-6 s - pH de la tina: 12-13
Fulardado	Porcentaje de impregnación: 200%
Vaporizado	- Duración: 20 min - Vapor saturado a 95 °C
Lavado	- Se procedió a neutralizar con ácido acético (0,5ml/l) - Se realizaron dos lavados, el 1ro a 80 °C y el 2do a temperatura ambiente con una duración de 120 s cada uno
Suavizado - Secado	- Se realizó un secado en la estufa a 150 °C por 15 min - El suavizado se realizó con Polmolube R-72-S a una concentración de 30 g/l, con un porcentaje de impregnación de 90%. Duración de la impregnación: 3-4 s - El secado tuvo una duración de 15 min a una temperatura de 150 °C en la estufa
Control de calidad	- Grado de blanco, según la norma AATCC 110 [AATCC, 1992] - Contenido de dureza en la tela - pH de la tela - Hidrofilidad, según la norma AATCC 79 [AATCC, 1992] - Resistencia a la tensión (trama y urdimbre), según la norma COVENIN [COVENIN 517, 1984]

3.2.2.3. Teñido semi-continuo

Esta etapa tuvo una duración de 25 h/muestra sin incluir las pruebas de control de calidad textil, básicamente porque la fijación duró aproximadamente 24 h. En la preparación de la fórmula se midieron las cantidades necesarias de los diferentes colorantes y auxiliares según los datos presentados en las Tablas N° 14 y 15.

Tabla N° 14. Químicos empleados en el teñido semi-continuo

Químicos	Función	Concentración(ml/l)
Soda Cáustica liq. 50° Bé	Alcali	5,00
Soda Solvay (Na ₂ CO ₃)	Alcali débil	20,00 g/l
Allperse 8	Detergente-Dispersante	2,00

Tabla N° 15. Colorantes empleados en el teñido semi-continuo

Colorante*(Laurel)	Concentración(g/l)
Amarillo Cibacron C5G	7,00
Azul Turquesa Cibacron HGN	27,80
Azul Marino SG	8,26

*estabilidad de los colorantes 30 min.

Se diluyeron los colorantes en 150 ml de agua, se agregó la soda solvay, luego la soda cáustica y se llevó a volumen final agregando agua. La Tabla N° 16 muestra la descripción del resto de las etapas del teñido semi-continuo.

Tabla N° 16. Procedimiento de las etapas del teñido semi-continuo

Etapas	Descripción
Impregnación	• Duración: 3-4 s • pH de la tina: 11-12.5
Fulardado	• Porcentaje de impregnación: 85-90%
Fijación	• Duración: 24 h • Almacenaje dentro de bolsas plásticas para evitar la aireación
Lavado	• Se realizaron cuatro lavados con agua a 80 °C con una duración de 120 s cada uno. • Se realizó un quinto lavado adicionando allperse 8 a una concentración de 2 ml/l a ebullición con una duración de 120 s • Finalmente se lavó con agua a temperatura ambiente con una duración de 120 s

Tabla N° 16. Procedimiento de las etapas del teñido semi-continuo. Cont.

Etapas	Descripción
Suavizado - Secado	• Se realizó un secado en la estufa a 150 °C por 15 min • El suavizado se realizó con cromasoft a una concentración de 30 g/l, con un porcentaje de impregnación de 90%. Duración de la impregnación: 3-4 s • El secado tuvo una duración de 15 min a una temperatura de 150 °C en la estufa
Control de calidad	• Solidez al lavado, según la norma COVENIN [COVENIN 759, 1978] • Solidez al frote, según la norma COVENIN [COVENIN 196, 1980] • Hidrofilidad, según la norma AATCC 79 [AATCC, 1992] • Validación del color

3.2.2.4. Teñido continuo

Esta etapa tuvo una duración de 2 h/muestra sin incluir las pruebas de control de calidad textil. El vaporizado de esta etapa se realizó en condiciones similares a las utilizadas en el blanqueo y blanco-blanco. Durante la preparación de la fórmula se midieron las cantidades necesarias de los diferentes colorantes y auxiliares según los datos presentados en las Tablas N° 17 y 18.

Tabla N° 17. Químicos empleados en el teñido continuo

Químicos	Función	Concentración (ml/l)
Allperse 8	Detergente-Dispersante	0,75
Irgapadol C.	Antimigrante	10,00

Tabla N° 18. Colorantes empleados en el teñido continuo

Colorante* (Adobe)	Concentración (g/l)
Pardo Tina BR.	3,20
Verde Oliva Tina B.	1,04

*estabilidad de los colorantes 30 min.

Se diluyeron los colorantes en 150 ml de agua y una vez disueltos se llevó a volumen final. La Tabla N° 19 muestra la descripción del resto de las etapas del teñido continuo.

Tabla N° 19. Procedimiento de las etapas del teñido continuo

Etapa	Descripción
Impregnación	• Duración: 3 s
Fulardado	• Porcentaje de impregnación: 90%
Aireación	• Duración: 37 s • Contacto directo con el aire
Tina de químicos	Los reactivos utilizados para la reducción del colorante son: hidrosulfito de sodio (reductor) a una concentración de 32 g/l, soda cáustica 50° Bé (álcali) a una concentración de 25 ml/l y allperse 8 (dispersante) a 0,6 ml/l. • Duración: 4 s • pH de la tina: 13
Fulardado	• Porcentaje de impregnación: 120%
Vaporizado	• Duración: 180 s • Vapor saturado a 95 °C Se precalentó el equipo por 30 min evitando la presencia de oxígeno
Tina de aclaración	• Agua libre de contaminantes • Temperatura: ambiente • Duración: 16 s
Oxidación 1	Los reactivos utilizados en la 1ra oxidación son: agua oxigenada 50% (oxidante) a una concentración de 18 ml/l y ácido acético (neutralizante) a 0,5 ml/l • Duración: 34 s • Temperatura 50-60 °C • pH: 10 – 11
Oxidación 2	• Duración: 30 s • Temperatura 40-50 °C • pH: 9-10 • Agua oxigenada 50% a una concentración de 3 ml/l
Lavado	• Se realizaron tres lavados a ebullición adicionando al segundo allperse 8 a una concentración de 2 ml/l con una duración de 120 s cada uno • Finalmente se lavó con agua pura a temperatura ambiente con una duración de 120 s
Suavizado - Secado	• Se realizó un secado en la estufa a 150 °C por 15 min • El suavizado se realizó con cromasoft S a una concentración de 30 g/l, con un porcentaje de impregnación de 90%. Duración de la impregnación: 3-4 s • El secado tuvo una duración de 15 min a una temperatura de 150 °C en la estufa
Control de calidad	• Solidez al lavado, según la norma COVENIN [COVENIN 759, 1978] • Solidez al frote, según la norma COVENIN [COVENIN 196, 1980] • Hidrofilidad, según la norma AATCC 79 [AATCC, 1992] • Escala de grises, Según la norma COVENIN [COVENIN 808, 1975] • Validación del color

Es importante mencionar que para la determinación del tiempo óptimo de vaporizado fueron realizadas pruebas preliminares basándose en la descomposición del hidrosulfito y en el efecto que éste puede tener sobre el sustrato; como ayuda se empleo el papel reductor tina y el cambio de coloración observado. Se estableció la necesidad de adicionar colorante a la tina de químicos en un 20% del volumen total, para evitar que el colorante absorbido por el sustrato en la fase de la impregnación regresara al baño.

3.2.2.5. Teñido por agotamiento

Las pruebas se realizaron en el equipo de laboratorio Launder-Ometer, sumergiendo la muestra de tejido previamente pesada en el baño de agua que ha sido calculado según la relación de baño 1:6. Este valor fue escogido por la empresa según recomendación de las casas fabricantes de colorantes..

El teñido se realizó con el único colorante disponible en la empresa para el teñido de tejidos por agotamiento (Rojo Deep Cibacron S-B). El fabricante de dicho colorante suministró la información básica para la definición del proceso y la formulación de los químicos auxiliares empleados. Sin embargo muchas etapas de este tipo de teñido fueron definidas tomando en cuenta su similitud con el proceso de teñido por agotamiento en autoclaves de hilos. Esta etapa tuvo una duración de 5 h/muestra sin incluir las pruebas de control de calidad textil. Durante la preparación de la fórmula, se midieron las cantidades necesarias de los diferentes colorantes, auxiliares y álcalis según los datos presentados en las Tablas N° 20 y 21.

Tabla N° 20. Químicos empleados en el teñido por agotamiento

Químicos	Función	Concentración
Allperse 8	Detergente-Dispersante	1,00 ml/l
Sulfato de sodio	Antimigrante	40 g/L
Soda solvay	Álcali débil	5,0 g/l
Soda cáustica	Álcali fuerte	0,652 ml/L

Tabla N° 21. Colorante empleado en el teñido por agotamiento

Colorante*	Concentración (%)
Rojo Cibacron S-B	1,0

*estabilidad de los colorantes 30 min.

El porcentaje de colorante presentado en la Tabla N° 21 determinó la cantidad del mismo que fue medido en función del peso de la muestra a teñir. Para añadir el colorante se diluyó primero, pero el volumen utilizado fue equivalente al volumen retirado de la máquina con la finalidad de no exceder la relación de baño. La Tabla N° 22 muestra la descripción del resto de las etapas del teñido continuo.

Tabla N° 22. Procedimiento de las etapas del teñido por agotamiento

Etapas	Descripción
Impregnación de auxiliares	- Se preparó el baño en la máquina a 80 °C - Se adicionó el allperse 8 y sulfato de sodio y se hizo permanecer por 10 min.
Impregnación del colorante	Se adicionó el colorante haciéndolo circular por 20 min.
Agotamiento	Se disminuyó gradualmente la temperatura de 80 °C a 60 °C durante 25 min.
Impregnación del álcali	- Se adicionó la soda solvay haciéndola circular por 10 min. - Se añadió la soda cáustica manteniendo el baño a 60 °C por 45 min.
Lavado-Neutralización	- El baño anterior fue sustituido por uno nuevo y llevado a 50 °C. durante 10 min. - Nuevamente el baño se sustituyó para la neutralización con ácido acético (0,5 ml/l) durante 10 min. - Se reemplazó el baño para lavar a ebullición durante 15 min con allperse 8 a 90 °C por 15 min - Se cambió el baño por uno de agua a 50 °C durante 10 min. - Finalmente se realizó un último lavado con agua fría durante 10 min
Suavizado	La muestra fue suavizada al hacer circular el pomolube por 30 min con una concentración de 3%
Secado	Se descargó el baño y seguidamente se aspiró la muestra para someterla al secado en la estufa, por 15 min a 150 °C
Control de calidad	- Solidez al lavado, según la norma COVENIN [COVENIN 759, 1978] - Solidez al frote, según la norma COVENIN [COVENIN 196, 1980] - Hidrofilidad, según la norma AATCC 79 [AATCC, 1992] - Validación del color

Una vez concluido la fase de muestreo fue posible determinar que punto del proceso es más sensible a la presencia de dureza en el agua. Se seleccionó el valor de dureza del agua que favorecía a la mayoría de los procesos de acabado estudiados, dicho de otra manera el que menor impacto negativo tuviese sobre la calidad de los productos terminados.

4. Propuestas, acciones y mecanismos de control

4.1. Reformulación del proceso de blanqueo

Sobre la base de los resultados, se reformuló el proceso de blanqueo respecto a la cantidad de aditivos químicos requeridos para contrarrestar los efectos que producen los iones provocadores de la dureza en el agua (secuestrantes). En esta parte se introdujo un nuevo muestreo para el valor de dureza adecuado en el agua de proceso, modificando en esta oportunidad la cantidad de secuestrante adicionado, evaluando el cumplimiento de las normas de calidad textil y determinando el porcentaje de reducción aceptable.

4.2. Evaluación y propuesta del sistema de suavización

Se evaluó la eficiencia del sistema de suavización de la planta de tratamiento realizando las recomendaciones pertinentes. Para ello se tomaron estadísticas de los volúmenes de agua tratados y las características físicas en cada uno de los equipos suavizadores actuales. Se determinó la eficiencia de la resina calculando la capacidad de intercambio y sus respectivos consumos de regenerante. Se anexó un conjunto de recomendaciones y consideraciones para el mejoramiento de fallas dentro de la actual planta de tratamiento de agua industrial.

Conocido el valor de dureza que favoreció al proceso estudiado, la forma de operación de los equipos de la planta de tratamiento y la eficiencia del sistema de los

suavizadores, se procedió a establecer en conjunto las reformas tecnológicas necesarias y los mecanismos de control que deben emplearse para producir el agua bajo la calidad deseada.

Se realizaron dos diseños de sistemas de suavización, para presentar alternativas viables económica y operativamente a la empresa, ante la actual situación del sistema de suavización. Se tramitó la cotización de ambas propuestas a fin de poder establecer la mejor opción a seleccionar.

En esta etapa se creó un manual de producción de agua industrial que reúne los principales mecanismos de control. El mismo incluyó los procedimientos no sólo para la obtención del agua para consumo en el proceso productivo, sino también el acondicionamiento del agua para la generación de vapor. Para su elaboración fue necesario realizar el levantamiento de las condiciones actuales de la planta de agua industrial. El manual sigue las normas ISO 9000 para el aseguramiento de la calidad [COVENIN-ISO 9001, 1995], así como el esquema establecido por la empresa para la elaboración de manuales. [T.P.G. MC, 2003]

Se gestionó el desarrollo de un laboratorio de aguas, para ello se evaluaron los requerimientos en equipos, reactivos y materiales, se tramitó la cotización de los insumos, se dispuso el espacio físico y se incluyó dentro del manual una sección para la realización de los análisis físico-químicos.

5. Análisis económico de las propuestas realizadas

El objetivo del análisis fue comparar las alternativas mutuamente excluyentes mencionadas en las propuestas de reformas del sistema de suavización. Se establecieron las ganancias resultantes de enviar agua de proceso con una dureza específica (favorable a las etapas de acabado), en términos de reproceso de cargas,

disminución de la producción de segunda y disminución de los costos por regenerante.

En base a la inversión contemplada (que incluye en ambos casos la instalación del laboratorio de aguas) y las anualidades correspondientes a las ganancias antes mencionadas, se estableció un flujo de caja para determinar la viabilidad de las mismas y cual de las propuestas resultaba más atractiva económicamente.

Finalmente se realizó el balance total de las ganancias generadas durante el periodo de capitalización por las propuestas y mejoras del actual proyecto, incluyendo el ahorro generado por la reformulación dentro del proceso de blanqueo.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se presentan y analizan los resultados obtenidos en la fase experimental en aras del cumplimiento de los objetivos planteados en el presente trabajo y correspondiente a la estructura metodológica presentada en el CAPÍTULO IV.

1. Impacto de las características físico-químicas del agua en las etapas del proceso de acabado

A partir de la caracterización físico-química de las fuentes de agua se demuestra la influencia de la dureza sobre la calidad del producto terminado, determinando el impacto que tiene sobre las etapas de acabado.

1.1. Caracterización físico-química de las fuentes de abastecimiento de agua

La caracterización de las fuentes de agua dentro de T.P.G. permite establecer cuales de los parámetros: dureza total, alcalinidad total, pH, turbiedad, hierro y manganeso se encuentran dentro de los rangos o valores establecidos para la industria textil. En la Tabla N° 23 se presentan los promedios de los parámetros antes mencionados y las respectivas tolerancias. Los datos que sustentan a los promedios presentados, se encuentran en el apéndice A.

La alcalinidad por definición es la capacidad que tiene el agua para neutralizar los ácidos y es producida por la acumulación de carbonatos de metales alcalinos. Dentro de la planta de acabado existen procesos con reacciones químicas que generan

productos ácidos como la formación de leucoderivados solubles durante las reacciones de los colorantes tina.

Tabla N° 23. Parámetros físico-químicos de las fuentes de abastecimiento de agua

Parámetro	Valor permitido	Punto de Control				
		Pozo 1 (σ)*	Pozo 2 (σ)*	Hidrocapital (σ)*	Entrada a planta (σ)*	Entrada al proceso (σ)*
Alcalinidad (mg/l de CaCO ₃)	100-200	159 (17)	226 (22)	92 (6)	118 (11)	118 (8)
pH	7,0-8,0	6,8 (0,1)	7,1 (0,1)	7,3 (0,1)	7,9 (0,2)	7,6 (0,1)
Hierro (mg/l)	≤ 0,30	0,32 (0,42)	1,58 (1,49)	0,15 (0,12)	0,25 (0,33)	0,03 (0,03)
Manganeso (mg/l)	≤ 0,10	0,07 (0,06)	0,05 (0,02)	0,07 (0,08)	0,03 (0,05)	0,01 (0,00)
Dureza (mg/l de CaCO ₃)	----	198 (18)	238 (22)	106 (14)	121 (27)	74 (18)

(*) Desviación Estándar del promedio.

Si los valores de alcalinidad en la fuente se mantienen más o menos estables, es posible optimizar el uso de los compuestos alcalinos especificados en formulación del proceso textil. Una alcalinidad baja en la fuente sugiere la necesidad de agregar más neutralizantes en las fórmulas de acabado, no obstante, una alcalinidad alta como la que presenta el pozo 2 de 226 mg/l favorecería en cierto modo al proceso, sin embargo implica altos índices de dureza.

Por su parte el pH debe presentar, más que un valor definido, desviaciones pequeñas, ya que el agua usada como diluyente en las diversas formulaciones de la planta de acabado, no debe alterar la estabilidad de estos baños.

En general todos los valores de pH se distribuyen con poca desviación respecto a la tolerancia. Pozo 1 es el único punto fuera de la tolerancia, sin embargo como la alimentación a la planta es una mezcla de las tres fuentes, el pH en la alimentación a la planta de tratamiento de agua industrial presenta valores superiores a los componentes de la mezcla y dentro del rango permitido. El agua entregada al proceso

productivo cuyo promedio es de 7,6 presenta un pH menor al de la mezcla de alimentación a la planta, esta reducción se debe básicamente al efecto de la filtración y suavización que elimina el exceso de los componentes alcalinos.

Otros parámetros físico-químicos de las aguas empleadas en el procesamiento textil, que resultan de especial atención son el contenido de hierro (Fe) y el de manganeso (Mn), quienes causan precipitaciones, obstrucciones y coloraciones no deseadas en el agua e incluso en el textil. Generalmente los valores de Fe y Mn son muy bajos, por lo tanto, para descartar que cualquier efecto sobre el género textil se deba a alguno de estos elementos, se realizó un seguimiento de estos contenidos durante cinco días.

Los máximos contenidos de Fe para las fuentes subterráneas, pozo 1 y pozo 2 se reportan en la Tabla N° 23, es importante aclarar que el contenido de hierro determinado puede no ser propio de la fuente, es decir, esta lectura puede ser producto de la oxidación y descarga de las tuberías de distribución del agua. La inactividad de los pozos durante los fines de semana permite la acumulación de sales y minerales como el Fe. La mezcla de estas fuentes con Hidrocapital cuyos valores de hierro están controlados genera una alimentación a la planta de tratamiento con un contenido promedio que se encuentra por debajo de la tolerancia.

El promedio del contenido de hierro para el agua entregada al proceso productivo, se encuentra aun más bajo de la tolerancia, esta reducción se debe a dos razones básicas: **(a)** el hierro insoluble producto de las oxidaciones de la tuberías es retirado en los filtros de grava y **(b)** el hierro soluble propio de la fuente, es poco y fácilmente retirado en el tren de suavizadores. Respecto al contenido de manganeso todos los puntos de control se encuentran dentro del valor permitido para la industria textil, especialmente la fuente entregada al proceso productivo reportando un contenido promedio de 0,01 mg/l.

Para la turbidez se realizó un pequeño muestreo, por heurística se sabe que este valor se encuentra muy por debajo de la tolerancia para procesos textiles (1 NTU). El contenido de sustancias extrañas e impurezas en el agua afecta a la correcta coloración en el proceso de teñido así como la eficiencia del proceso de blanqueo. Los valores más importantes calculados son en el punto de alimentación de la planta que se ubica en 0,57 NTU y el agua entregada al proceso se ubicada en 0,21 NTU. Por ello se supone como suficiente el control que sobre este parámetro tienen los filtros de grava.

En la bibliografía no se encuentra un rango de dureza específica para la operación textil. Algunos fabricantes de colorantes han estudiado el efecto que sobre la estabilidad de los mismos tiene la dureza del agua, alguno de ellos recomiendan utilizar agua con dureza menor a 50 mg/l, sin embargo esta recomendación no considera la variedad de los procesos de tintura.

Para el periodo de estudio la mezcla de alimentación a la planta presenta variaciones de 27 mg/l respecto a su promedio de dureza: 121 mg/l. Este amplio rango hace vulnerable al sistema de suavización haciendo necesario implementar mecanismos de control que conduzcan (de ser necesario) a la obtención de agua con una dureza adecuada.

La ausencia de un sistema de suavización capaz de tolerar las variaciones de calidad en la alimentación se ve reflejado en los valores que se registran para el agua que se entrega al proceso productivo (agua filtrada y suavizada) cuyo promedio presenta desviaciones de 18 mg/l aumentando el riesgo de obtener textiles fuera de estándar. El seguimiento realizado a la dureza del agua en los puntos de control se muestra en la Figura N° 14.

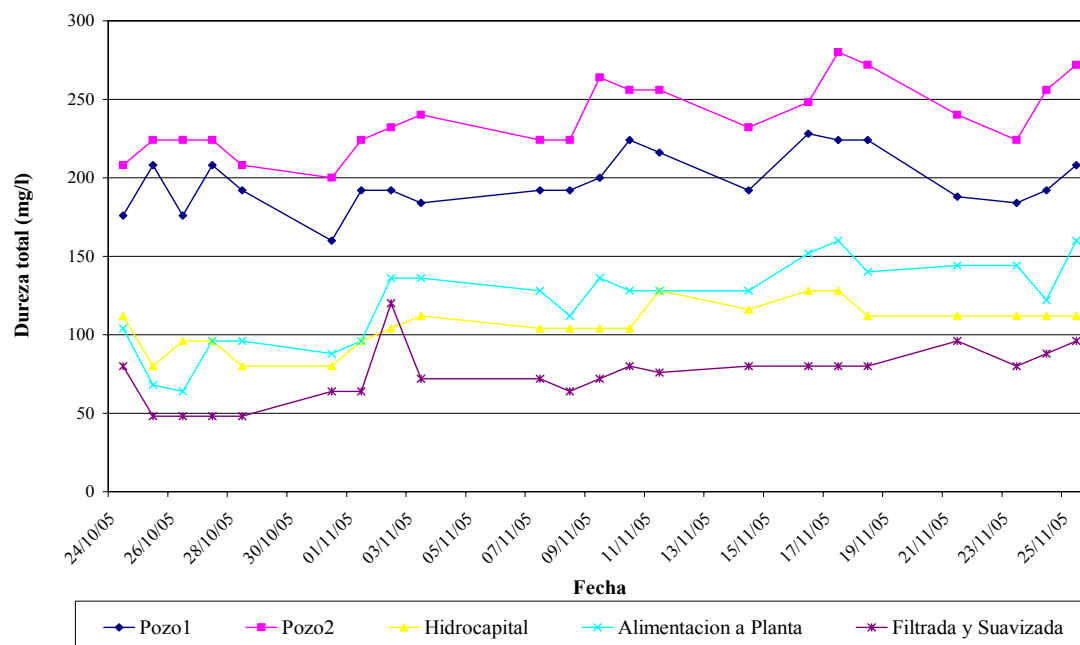


Figura N° 14. Variación de la dureza total durante el periodo de muestreo

La inestabilidad de la mezcla que alimenta a la planta de tratamiento de agua industrial se debe principalmente a dos razones: **(a)** Hidrocapital que surte a la empresa de agua tratada no siempre está presente y **(b)** dos de las tres fuentes que integran la mezcla, son subterráneas, su calidad se ve fuertemente influenciada con los cambios meteorológicos y por la frecuencia con que es extraída el agua; la baja actividad en los pozos genera un aumento de la concentración de sales.

Se anexan en el apéndice A los reportes de dureza de la empresa para el periodo Enero 2005- Marzo 2006, para comprobar que la variación de la dureza en los puntos de control no fue exclusivamente durante el periodo de estudio,

De la caracterización físico-química realizada se pueden concretar los siguientes aspectos:

- Los parámetros distintos a la dureza: pH, alcalinidad, turbiedad, Fe y Mn en el agua de proceso se encuentran dentro de los rangos aceptables y/o adecuados para

la industria textil, por tanto no representan un problema a la calidad del producto final y cualquier efecto del agua sobre el textil durante la evaluación de las etapas de acabado se debe exclusivamente a la dureza presentada.

- Si se determina que la dureza del agua afecta al producto textil, se descarta la posibilidad de entregar el agua al proceso productivo sin previo tratamiento por las fluctuaciones que presenta la mezcla de alimentación

1.2. Análisis de los efectos de la dureza en la calidad del producto

Para el año 2005 se registraron en la planta de acabado 20.366 unidades fuera de estándar por color, como lo muestra la Figura N° 15.

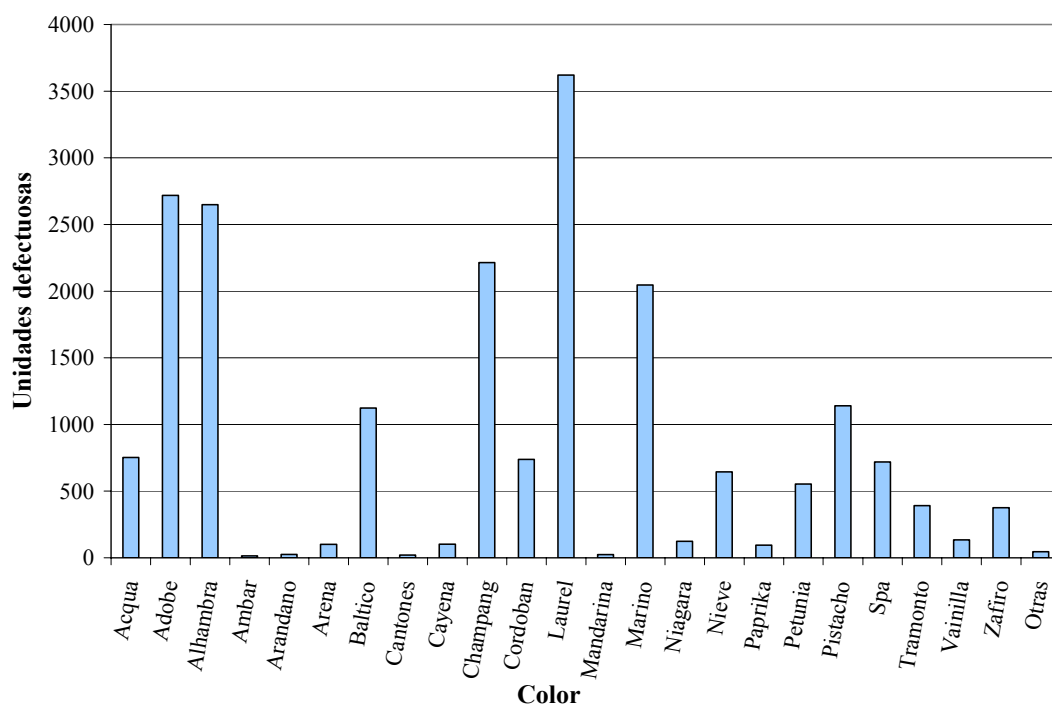


Figura N° 15. Producción fuera de estándar por color. Año 2005. (Fuente: T.P.G., 2005)

Aun cuando la obtención de textiles fuera de estándar se puede deber a diversos factores como: el tipo de proceso, el desempeño de los operarios, la eficiencia de la

maquinaria, la calidad de los aditivos químicos, la calidad de la fibra, etc., es posible establecer una relación de calidad con los niveles de dureza en el agua de proceso.

La Tabla N° 24 muestra el número de unidades defectuosas y los correspondientes niveles de dureza reportados en el agua de proceso. En las estadísticas existen numerosas unidades defectuosas, fuera de estándar por color que no se mencionan, sólo se muestran las correspondientes a dos de los colores utilizados en la fase experimental, buscando relacionar el efecto que tiene la dureza total sobre las etapas de acabado en cuanto a la producción de unidades defectuosas.

Tabla N° 24. Unidades fuera de estándar y niveles de dureza en el agua de proceso

Fecha	Color	Dureza del agua (mg/l)	Unidades defectuosas
12/01/2005	Cayena	198	26
26/04/2005	Adobe	100	7
07/07/2005	Adobe	96	188
25/07/2005	Adobe	No reportada	300
18/08/2005	Adobe	144	718
19/08/2005	Adobe	128	300
23/09/2005	Adobe	138	105
26/09/2005	Laurel	138	81
07/10/2005	Laurel	80	482
26/10/2005	Laurel	72	159
31/10/2005	Laurel	72	513
02/11/2005	Laurel	72	515
09/11/2005	Cayena	88	75
18/11/2005	Laurel	88	137
22/11/2005	Laurel	96	52
24/11/2005	Adobe	80	1100
28/11/2005	Laurel	92	577
06/12/2005	Laurel	80	300
07/12/2005	Laurel	96	382
08/12/2005	Laurel	96	263
12/12/2005	Laurel	80	159

Fuente: Estadísticas fuera de estándar. T.P.G., 2005

Nótese como ciertos valores de dureza utilizados durante la etapa de acabado, han influido probablemente en la generación de unidades fuera de estándar. Una vez que

se determine la influencia que tiene la dureza del agua en cada una de las etapas de acabado, se podrá confirmar efectivamente que este parámetro tiene responsabilidad en la producción de segunda.

De las estadísticas se puede mencionar que el color **Cayena** es el más representativo en los procesos por agotamiento para hilados, presenta amplia estabilidad y baja producción fuera de estándar: 101 unidades para el año 2005. El **Laurel** es uno de los colores empleado en el teñido semi-continuo y presenta el mayor número de unidades defectuosas: 3.620 unidades para el año del reporte. Para el teñido en forma continua el **Adobe**, es el que reporta mayor número de unidades defectuosas: 2.718 toallas (2^{do} en las estadísticas). Este análisis permite justificar la selección de los colores dentro de los respectivos procesos de teñido. La Figura N° 16 muestra los tonos empleados en los procesos de tintura, se incluye el color **Rojo Deep S-B** para el teñido por agotamiento.



Figura N° 16. Colores seleccionados para la fase experimental

Como ya se mencionó, para la industria textil no existe un valor estándar de dureza en el agua de proceso y de existir sería igual de necesario realizar un estudio que determine el valor adecuado para las operaciones de acabado, ya que los requerimientos pueden variar con el tipo de proceso e incluso con los colorantes empleados. Es por esto que con base a la caracterización de las fuentes de agua se determina la influencia de la dureza del agua en las etapas de acabado ensayando y analizando cada una de ellas con distintos valores de dureza: 0, 40, 80, 120 y 240 mg/l.

Al realizar el análisis de los resultados de la fase de muestreo se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- La forma en la cual se analiza la coloración de las muestras de los diferentes procesos de teñido, es a través de un colorímetro, que proporciona diferentes sistemas de colores seleccionándose el sistema CIELAB.
- Como tolerancia para la validación del color, la empresa establece como aceptables aquellas muestras cuya diferencia respecto al estándar sea igual a la unidad dentro de los ejes del sistema de color CIELAB. La valoración del color se realizará en función de los colorantes empleados para la obtención del tono, graficando el parámetro correspondiente a la variación del color empleado.

$$|\text{Valor Estándar}| - |\text{Valor Experimental}| \leq 1$$

- Las tablas mostradas en el análisis de las etapas de acabado incluyen sólo los valores promedios de los ensayos, el conjunto de datos y las desviaciones respectivas se encuentran en el apéndice B.
- Las tablas que soportan los gráficos presentados se encuentran en el apéndice B.

1.2.1 Muestreo y operación de las etapas de acabado

1.2.1.1. Hilos

Los hilos son destinados a dos procesos: **(a)** el descruce para la creación de la cenefa de la toalla y **(b)** el teñido para la creación de toallas a rayas. El estudio de los hilados se inicia con la evaluación de la dureza contenida en el sustrato crudo, con un promedio de 97 mg/l (ver Tabla N° 53 del apéndice B). Desde el proceso de

obtención del algodón hasta la hilatura, la fibra es contaminada con innumerables sustancias extrañas (restos de la planta, cascarillas, etc.), iones metálicos y otros elementos que le dan un aspecto amarillento y dejan a la fibra cargada de dureza en forma de sales cálcicas y magnésicas que son eliminadas en la etapa de descrude y semi-descrude (propio del proceso de teñido de hilos).

Durante ambos procesos la reducción del contenido de dureza se logra a través de la adición de auxiliares secuestrantes, los cuales eliminan no sólo los iones contenidos en la fibra sino también la dureza en el agua de proceso. La Figura N° 17 muestra el aspecto físico de los hilos crudos.



Figura N° 17. Hilos crudos (a la izquierda de un cabo y a la derecha de dos cabos)

1.2.1.1.1. Descrude de hilos

Los hilos descrudados son destinados a la producción de la cenefa que luego es enviada como parte de la toalla al proceso de blanqueo. A menores concentraciones de dureza en el hilo, mayor ahorro en secuestrantes, mejor eficiencia y estabilidad en el proceso. No debe emplearse una cenefa con hilos de mayor contenido de dureza que la del resto de la toalla porque existe la posibilidad de tener teñidos no uniformes; al ser desigual los contenidos de dureza entre la parte tejida de la toalla y la cenefa, la afinidad y fijación del colorante no es la misma. Según el análisis realizado al tejido crudo, la dureza corresponde en promedio a 43 mg/l. La Tabla N° 25 muestra el contenido de dureza residual en los hilos descrudados.

Tabla N° 25. Pruebas del control de calidad para el proceso de descruce de hilos

Dureza (mg/l)	Dureza residual en los hilos (mg/l) (σ)*	pH (σ)*
0	8 (0)	8,6 (0,3)
40	9 (2)	8,9 (0,4)
80	20 (0)	8,6 (0,4)
120	29 (2)	8,8 (0,6)
240	60 (11)	8,5 (0,2)

(*) Desviación Estándar del promedio.

La dureza residual en el hilo depende de la dureza del agua utilizada durante el descruce, aumentando a medida que lo hace el valor de dureza bajo el cual son procesados. Se consideran aceptables los procesos de descruce con todos los valores de dureza ensayados a excepción de 240 mg/l por permitir un contenido residual de dureza mayor al del tejido crudo.

Tal como en caso del agua de proceso, el pH del sustrato puede causar inestabilidad en los baños de tintura e incluso variaciones en los tonos obtenidos, sin embargo al estudiar los hilos descruados el pH se mantuvo en rangos alcalinos con valores promedio entre 8,5 y 8,9 no mostrando ninguna tendencia específica que lo asocie con el contenido de dureza en el agua de proceso. La Figura N° 18 muestra el aspecto físico de los hilos descruados.



Figura N° 18. Hilos descruados

1.2.1.1.2. Teñido de hilos

Los hilos teñidos son enviados a tejeduría para formar toallas a rayas que pasan luego al tren de blanqueo para mejorar su aspecto final. Si la franja de color descarga sobre la franja blanca, la toalla pierde su valor económico, por lo que es importante que los hilos teñidos presenten resistencia a degradar y/o transferir su color. La Tabla N° 26 presenta los resultados obtenidos en las pruebas de control de calidad de los hilos.

Tabla N° 26. Valoración de la solidez al blanqueo de los hilos teñidos

Dureza (mg/l)	Escala de grises *	
	Degradación	Transferencia
Estándar	≥ 3	5
0	3-4	5
40	3-4	5
80	3	5
120	3	5
240	2-3	5

(*) 5 no hay transferencia o degradación, 1 máxima transferencia o degradación.

Al evaluar la transferencia del color se observa que el testigo no adquirió ninguna coloración tal como se muestra en la Figura N° 19. Los colorantes tina (que conforman el tono cayena) una vez que han sido correctamente fijados por reducción y posterior oxidación, ofrecen gran resistencia a devolver el color. En la Tabla N° 73 del apéndice B se muestra que la solidez de los colorantes Rojo FBB y Amarillo GC al blanqueo con peróxido es máxima.



Figura N° 19. Evaluación de la transferencia en la solidez al blanqueo

El hilo crudo tiene una apariencia amarillenta debido a la suciedad original, ésta debe ser retirada en el semi-descrude acondicionando a la fibra para la absorción del color. Durante el proceso de blanqueo la fibra es limpiada de cualquier suciedad, aquellas muestras eficientemente semi-descrudadas presentan un color más limpio y real por lo que el cambio de color luego del blanqueo es menor. Al evaluar dicha variación se observa que los teñidos realizados con dureza de 0 y 40 mg/l tienen un cambio de color aceptable, disminuyendo la solidez a medida que aumenta la dureza del agua.

Para que las toallas teñidas sean aceptables visualmente se requiere hacer una valoración del color para determinar que tan cerca se encuentra el hilo procesado del estándar. Del sistema de colores CIELAB resultan importantes los valores del parámetro a^* o variación rojo-verde y del parámetro b^* o variación amarillo-azul. Todos los demás parámetros arrojados por el equipo se encuentran referidos en el apéndice B. La Figura N° 20 muestra la variación del rojo en la obtención del cayena.

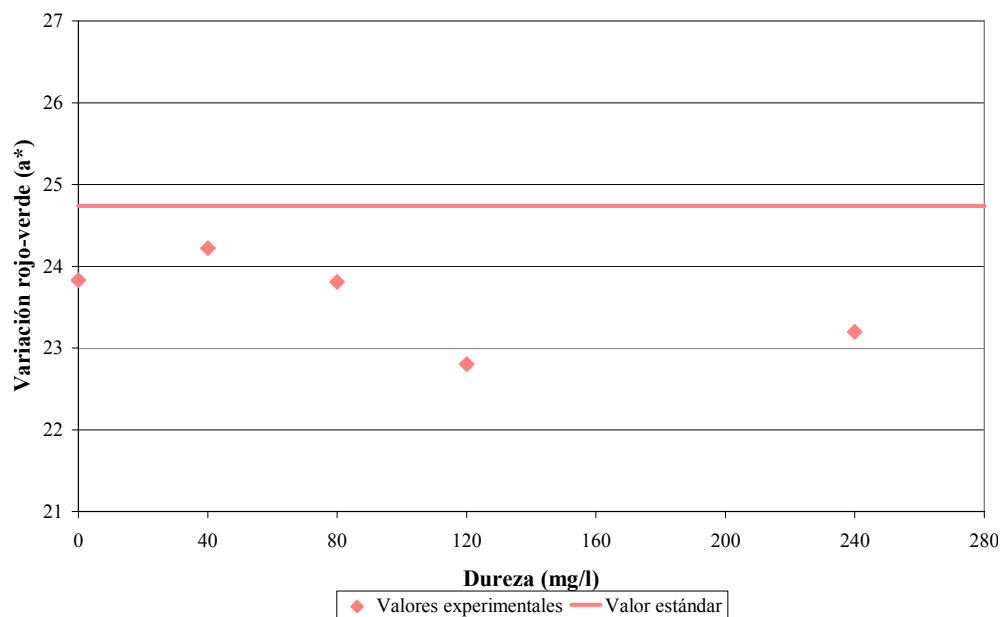


Figura N° 20. Variación del color rojo en las muestras de hilos

A medida que se hace más positivo a^* , mayor es el contenido de rojo en la muestra, en todos los casos evaluados el parámetro a^* estuvo por debajo del valor estándar. Sin embargo sólo las muestras correspondientes a 0, 40 y 80 mg/l se encuentran dentro de la tolerancia (1 unidad) para el color rojo.

La razón se basa en la sensibilidad de los colores rojos a la dureza del agua. El colorante no puede agotarse en proporción adecuada, pues los iones metálicos impiden que el compuesto leucoderivado soluble que se forma en los colorantes tina una vez que son reducidos, se estabilice y alcance a penetrar fácilmente a los sitios intermicelares de la fibra, para que por posterior oxidación se fije al tejido. Los compuestos leucoderivados reaccionan con las sales cálcicas y magnésicas de las aguas, formando compuestos más o menos insolubles que no presentan afinidad por el género. De este modo, el colorante nuevamente insoluble a la fibra queda en el baño tintóreo y es desechado.

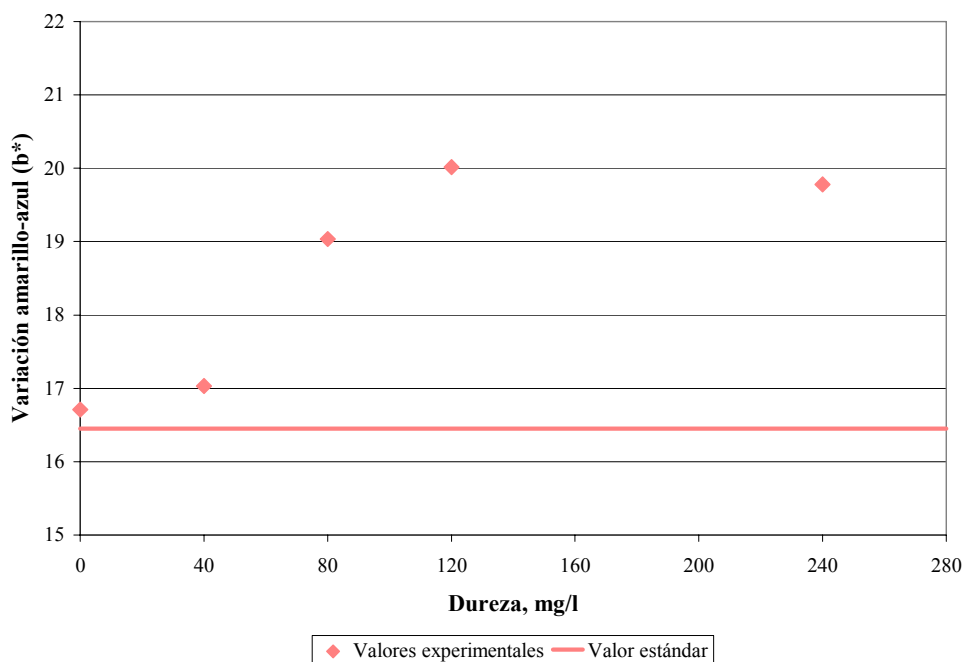


Figura N° 21. Variación del color amarillo en las muestras de hilos

La Figura N° 21 muestra los valores del parámetro b^* arrojados por el equipo para el análisis del color amarillo. Se sabe que a medida que b^* va en incremento, lo hace también el contenido de amarillo en la muestra. Dentro de la figura se observa como los valores de dureza correspondientes a 0 y 40 mg/l se encuentran dentro del rango aceptable para el color amarillo.

En los teñidos por agotamiento el colorante o la mezcla de los colorantes van disminuyendo sus concentraciones en el baño al ser absorbidos por la fibra. La velocidad a la cual se difunde el colorante del baño a la fibra depende de la dureza del agua. En las Figuras 20 y 21 se observa un menor agotamiento del color rojo y una mayor presencia en el hilo del color amarillo. A este análisis debe agregarse la posible presencia de impurezas en el hilo responsables del tono amarillento en el sustrato. Para el teñido de hilos solamente las aguas con durezas de 0 y 40 mg/l se encuentran dentro de los estándares de calidad.

1.2.1.2. Tejidos

El estudio de los tejidos se inicia con la caracterización de la materia cruda: dureza en la tela, resistencia a la tensión, almidón e hidrofiliidad (los ensayos se encuentran reportados en la Tabla N° 56 del apéndice B). La dureza contenida en el sustrato crudo resultó ser de 43 mg/l. Durante el blanqueo debe reducirse al máximo este contenido de sales cálcicas y magnésicas que inactivan a la celulosa para la absorción y fijación de colorante. Una vez que el tejido ha sido procesado, puede compararse el valor de dureza residual con el valor inicial conociendo así la efectividad de los secuestrantes adicionados.

La resistencia a la tensión se ubicó en 74,2 lb para la urdimbre y 58,5 lb para la trama. Los hilos en el sentido de la trama o a lo ancho tienen una menor resistencia que los hilos dispuestos a lo largo de la toalla o urdimbre. Para evaluar la eficiencia del proceso de blanqueo y más aun el efecto de los iones causante de la dureza del agua,

es importante conocer la resistencia que inicialmente posee el tejido, sabiendo que durante el blanqueo se pierde resistencia. La toalla cruda es hidrofóbica y por ello los tiempos de absorción son mayores a 6 s. El contenido de almidón no degradado (adquirido durante el encolado de los hilos) es elevado: 1 y debe ser retirado eficientemente en el proceso de blanqueo. La Figura N° 22 muestra el aspecto físico del tejido crudo.



Figura N° 22. Tejido crudo

1.2.1.2.1. Blanqueo

En el blanqueo se inicia el acabado de los tejidos, para realizar estos ensayos fue necesario el diseño y la construcción de un equipo donde se efectuaron las etapas de vaporizado, el mismo fue utilizado en el teñido continuo y en la producción de toallas blancas. El equipo, que se muestra en la Figura N° 23 simula las condiciones de operación de planta y se surte de vapor saturado proveniente del Saturador principal adjunto a la “J” de Vaporizado, el cual es regulado por la acción de una válvula. En el interior del equipo se simula el recorrido que las toallas realizan dentro de la “J” con la ayuda de rodillos y una guía transportadora.

Al ingresar, la materia textil pasa a través de dos labios de presión de aire variable, al momento de introducir el tejido los mismos disminuyen su presión evitando ejercer un exprimido no deseado sobre el sustrato. El equipo cuenta con dos medidores de temperatura y uno de presión para controlar las condiciones de operación.

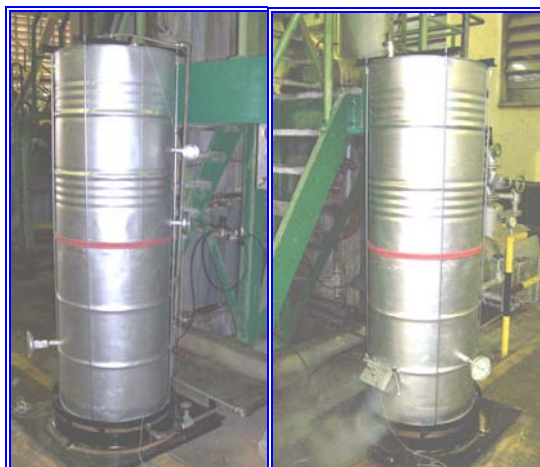


Figura N° 23. Equipo vaporizador construido en Abril de 2006

La Tabla N° 27 refiere los resultados del blanqueo de textiles. Los agentes que producen el color amarillento en la fibra son con frecuencia compuestos orgánicos que contienen cadenas conjugadas, es decir, enlaces dobles y sencillos alternados. El peróxido destruye uno o más de los dobles enlaces ocasionando la debilidad en los hilos que conforman al tejido. Los iones metálicos (hierro, manganeso, sodio, calcio, magnesio, etc.) presentes en el agua de proceso, tienen la propiedad de descomponer de manera descontrolada al peróxido de hidrógeno sobre la superficie del sustrato, catalizando la reacciones que ocurren en el proceso de blanqueo lo que debilita y rompe a la fibra.

Tabla N° 27. Pruebas del control de calidad para el proceso de blanqueo

Dureza (mg/l)	Resistencia a la tensión (lb) (σ)*		Contenido de dureza en la tela (mg/l) (σ)*	pH de la tela (σ)*	Hidrofilidad Tiempo (s)	Contenido de almidón (σ)*
	Sentido					
	Urdimbre	Trama				
Estándar	65 ± 5	49 ± 5	----	7-8	<1	≥ 5
0	66,7 (4,0)	49,3 (5,1)	0 (0)	9,0 (0,1)	<1	4,5 (0,6)
40	65,7 (3,3)	53,2 (0,8)	0 (0)	7,9 (0,6)	<1	5,0 (0,0)
80	65,7 (3,8)	52,3 (1,5)	27 (12)	8,0 (0,3)	<1	5,0 (0,3)
120	65,0 (7,0)	50,3 (1,5)	61 (17)	7,5 (0,5)	<1	5,5 (0,0)
240	60,8 (2,8)	45,5 (3,5)	65 (8)	8,3 (0,1)	<1	4,0 (0,3)

(*) Desviación Estándar del promedio.

En la urdimbre a medida que aumenta la dureza en el agua de proceso, disminuye la resistencia, con una diferencia del 10% para 0 mg/l hasta de 12% para 120 mg/l. Los porcentajes de disminución se encuentran en la Tabla N° 58 del apéndice B. Sin embargo, es a un valor de dureza extremo (240 mg/l) donde la resistencia disminuye respecto al valor inicial en 18%.

En la trama el análisis es similar, los porcentajes de disminución de la resistencia van desde 11% para una dureza de 0 mg/l y 80 mg/l hasta un valor extremo de 22% para el proceso simulado a 240 mg/l. Además del alto contenido de dureza en este último ensayo, es importante recordar que es obtenida desde el pozo 2 en donde el contenido de hierro y manganeso es significativo: 1,58 mg/l de Fe y 0,05 mg/l de Mn (ver Tabla N° 23) lo que agrava los resultados de la resistencia en el proceso de blanqueo.

En esta etapa de acabado no se puede considerar un valor estándar para el porcentaje de disminución de la resistencia; los valores pueden variar dependiendo de varios factores (calidad de la fibra, proceso de hilatura y tejeduría, encolado del hilo, etc.), por lo cual la resistencia del producto blanqueado es relativa totalmente a la resistencia inicial.

A simple vista todos los ensayos se encuentran aceptables; el análisis se complica en el caso donde la resistencia inicial del tejido crudo es mucho más baja y se mantienen los porcentajes de disminución de la resistencia, con lo cual los valores obtenidos podrían entonces encontrarse por debajo del valor mínimo de resistencia a la tensión. Desde este punto de vista son aceptables las resistencias obtenidas para todos los ensayos, excepto para 240 mg/l por presentar un porcentaje de disminución muy elevado.

Respecto al contenido de dureza en el tejido, la misma puede perjudicar los procesos de tintura. Dentro del proceso de blanqueo se añaden secuestrantes con la finalidad de reducir al mínimo la dureza del tejido por lo cual la eficiencia del proceso se puede

evaluar con este parámetro. La Tabla N° 27 muestra que a medida que aumenta la dureza en el agua de proceso, también lo hace la dureza en el tejido.

La dureza en la fibra aparece cuando se simula el proceso con agua a 80 mg/l y aumenta hasta un contenido promedio de 65 mg/l en el tejido para una dureza de 240 mg/l en el agua de proceso. El tejido ensayado con aguas de durezas de 120 y 240 mg/l presenta una dureza superior a la del tejido crudo; en esas pruebas la cantidad de secuestrante no es suficiente para reducir el contenido total de dureza (aportada por el tejido y por el agua de proceso), entonces no tiene sentido agregar secuestrantes para disminuir la dureza del tejido si la misma aumenta por el agua de proceso utilizada, desperdiciando el producto y aumentando los costos por el uso de los auxiliares.

Luego del vaporizado en el blanqueo, el tejido pasa a la fase de lavado donde se le retira la capa amarilla que se ha desprendido del tejido. Durante el primer lavado se tomaron muestras del agua con la finalidad de evaluar la acción de los secuestrantes. La Tabla N° 28 presenta la dureza en el efluente del lavado para las muestras semi-blanqueadas.

Tabla N° 28. Dureza total en el efluente del lavado

Dureza (mg/l)	Dureza del efluente (mg/l) (σ)*
0	0 (0)
40	0 (0)
80	11 (5)
120	35 (5)
240	142 (3)

(*) Desviación Estándar del promedio

Se constató que el efluente del agua de lavado presentó valores de dureza menores a las propias del tipo de agua utilizado. Para los secuestrantes resulta más sencillo atacar los iones que se encuentran disueltos en el agua que aquellos que están enlazados al sustrato, mientras que para los iones provocadores de la dureza en el

agua resulta fácil penetrar en los sitios activos de la celulosa (que se liberan en el blanqueo) aumentando la dureza del tejido.

En agua de 0 y 40 mg/l de CaCO_3 los secuestrantes parecen poder eliminar la dureza tanto del agua dentro de la fórmula como del tejido, quedando aun un residuo capaz de eliminar la dureza del agua durante el lavado. En el resto de los ensayos con aguas de dureza superior a 40 mg/l, la cantidad de secuestrantes parece suficiente para eliminar totalmente la dureza del tejido o por lo menos reducirla, sin embargo no quedan residuos capaces de captar iones en el agua de lavado y esta dureza tiende a migrar nuevamente hacia el tejido disminuyendo de esta forma la dureza en el agua de lavado.

El pH de la tela, importante para lograr tinturas uniformes y colores dentro de los estándares, se ve incrementado por los residuos de soda cáustica y suciedad que pueda contener el tejido una vez que ha sido blanqueado. Si existe un lavado eficiente, el pH de la tela debe encontrarse dentro de los valores aceptables.

Generalmente, la eficiencia en el lavado se logra con aguas moderadamente duras (75-150 mg/l). La ausencia de iones metálicos durante el lavado incrementa el poder espumante del detergente, haciendo necesario un mayor consumo de agua para eliminarlo; sin embargo, el proceso textil está programado de tal manera que las toallas cumplan con un tiempo específico de permanencia dentro de las lavadoras. Cuando el proceso se lleva a cabo con agua dura mayor a 150 mg/l, los iones calcio y magnesio tienden a formar precipitados (en forma de sales insolubles) con el detergente aumentando su consumo para lograr una limpieza eficiente. Según la Tabla N° 27 los valores de dureza extremos (0 y 240 mg/l) se encuentran fuera del rango.

Respecto a la hidrofiliidad del tejido, durante el blanqueo se mejoran las propiedades de absorción del tejido al eliminar la suciedad y la dureza que recubre a la fibra. Una

vez semi-blanqueado los tejidos ensayados presentan una buena hidrofilidad con un tiempo de absorción inmediato.

En cuanto al contenido de almidón, una vez más el lavado tiene gran influencia al ser responsable de retirar los restos del producto de encolado. Se observa en la Tabla N° 27, que nuevamente los valores de dureza extremos: 0 y 240 mg/l son menos efectivos dejando mayor cantidad del encolante.

Una vez conocidas las propiedades físicas del tejido semi-blanqueado resulta preciso conocer el grado de blanco, sabiendo que al ser más blanca la muestra, más limpio será el teñido. La Figura N° 24 muestra la valoración del aspecto de las muestras a través de la reflectancia.

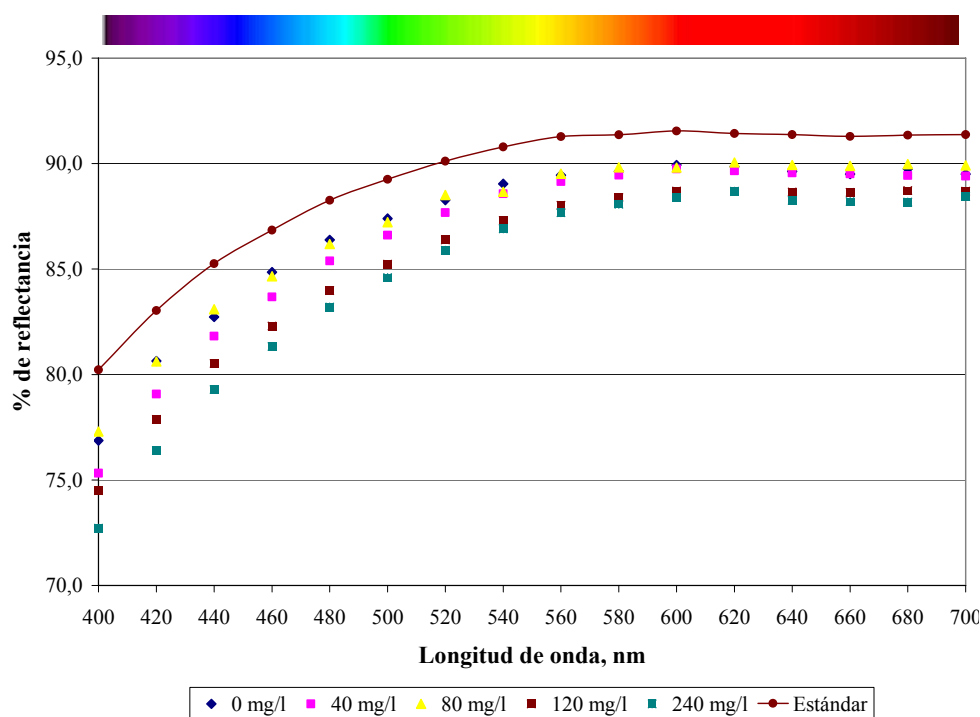


Figura N° 24. Grado de blanco en las muestras semi-blanqueadas

La reflectancia en función a la longitud de onda permite determinar cuales colores del espectro visible (400 y 700 nm) son reflejadas por el cuerpo y en que porcentaje. El

aspecto de semi-blanco aparente absorbe luz en la longitud de onda del espectro azul-violeta (reflejando un tono amarillo), y luego de una longitud de onda mayor a 540 nm se estabiliza absorbiendo o reflejando por igual los colores.

Para comparar la desviación entre los valores de reflectancia de cada una de las curvas y el estándar, se calcularon los errores correspondientes a la diferencia entre el conjunto de datos experimentales con los datos estándar. Los porcentajes se muestran en la Tabla N° 62 del apéndice B.

Las muestras con mayor reflectancia corresponden a los valores de dureza de 0, 40 y 80 mg/l, encontrándose más cercanos al estándar con una desviación porcentual promedio respecto al patrón que no supera el 4%, porcentaje máximo que se toma como criterio de calidad para el grado de blanco. En los ensayos con mayor dureza en el agua, la presencia de iones calcio y magnesio dentro de la fórmula de blanqueo afectan la estabilidad del peróxido de hidrógeno y por tanto no elimina eficientemente el aspecto amarillento propio del tejido crudo.

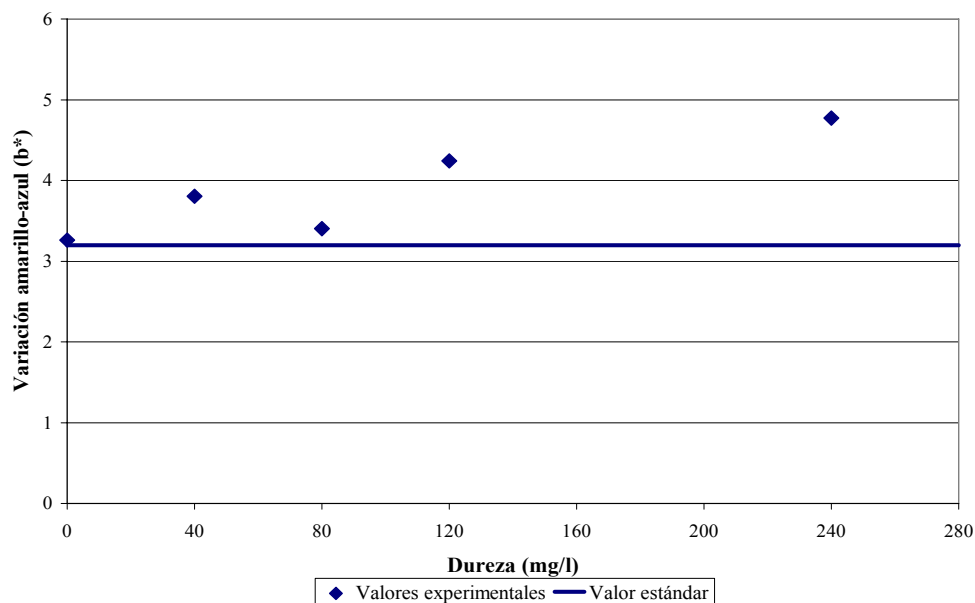


Figura N° 25. Grado de amarillamiento en las muestras semi-blanqueadas

Otro parámetro relacionado con el aspecto de las muestras semi-blanqueadas es el contenido de amarillo (b^*) tal como indica la Figura N° 25. Las muestras ensayadas con agua de 0, 40 y 80 mg/l presentan un menor contenido de amarillo que los procesos simulados con agua a 120 y 240 mg/l de dureza.

El proceso de blanqueo puede verse favorecido con aguas de proceso con una dureza de 40 y 80 mg/l, por cumplir con todos los criterios de control de calidad: resistencia a la tensión, contenido de dureza en la tela, pH, hidrofiliadad, contenido de almidón y grado de blanco.

1.2.1.2.2. Blanco-blanco

La necesidad de comercializar un producto blanco hace que el sustrato semi-blanqueado sea reintroducido al proceso de blanqueo esta vez con menor concentración de los químicos, e incluyendo un blanqueador óptico. Las características de las muestras blancas se resumen en la Tabla N° 29.

Tabla N° 29. Pruebas del control de calidad para el proceso de blanco-blanco

Dureza (mg/l)	Resistencia a la tensión (lb) (σ)*		Contenido de dureza en la tela (mg/l) (σ)*	Hidrofilidad Tiempo (s)	pH de la tela(σ)*
	Sentido				
	Urdimbre	Trama			
Estándar	50 ± 5	40 ± 5	----	< 1	7-8
0	52,3 (1,8)	39,7 (1,0)	0 (0)	< 1	7,5 (0,4)
40	53,0 (0,9)	38,5 (1,3)	0 (0)	< 1	7,3 (1,6)
80	48,3 (0,6)	38,2 (0,8)	20 (0)	< 1	7,0 (1,5)
120	48,3 (0,8)	37,5 (1,3)	23 (2)	< 1	7,7 (0,5)
240	47,5 (0,5)	36,2 (2,9)	32 (7)	< 1	8,3 (0,1)

(*) Desviación Estándar del promedio.

Como la fórmula de blanco-blanco es similar a la del blanqueo, sigue ocurriendo el debilitamiento de la fibra durante esta etapa de acabado, pues el peróxido de hidrógeno puede nuevamente ser atacado por los iones metálicos descomponiéndose

descontroladamente sobre la fibra y rompiendo no sólo los dobles enlaces de los grupos cromóforos causantes de las impurezas, sino también debilitando los enlaces de la celulosa.

La resistencia de las muestras en ambos sentidos disminuye al aumentar el valor de dureza con el cual se simuló el proceso, sin embargo como ya se analizó para el blanqueo a pesar de que todos se encuentran dentro de los límites tolerables pueden no ser garantía.

Para las muestras sometidas a aguas con dureza de 0 y 40 mg/l, se observó ausencia de iones calcio y magnesio (dureza) en el tejido, resultando interesante notar que 240 mg/l presenta una dureza en la tela menor a la obtenida en el blanqueo para el mismo valor de dureza del agua de proceso, esto se debe a que la cantidad de secuestrante dentro de la fórmula es suficiente para contrarrestar el efecto de la dureza reduciéndola en el agua de proceso y en la tela, cuyos sitios activos son liberados nuevamente para dar paso a la formación del enlace entre el blanqueador óptico y la celulosa. En el proceso de lavado los iones no migran hacia el tejido en igual proporción que durante el lavado del proceso de blanqueo, pues son menos los sitios activos disponibles.

La hidrofiliidad y el pH se mantuvieron en valores aceptables. La Figura N° 26 muestra la variación de la reflectancia a lo largo del espectro visible para las muestras blancas. Las muestras con mayor reflectancia corresponden a los valores de dureza de 0, 40 y 80 mg/l, encontrándose más cercanos al estándar con una desviación porcentual promedio respecto al estándar que no supera el 4% (ver Tabla N° 66 de apéndice B).

Para dar la apariencia de blancura se añade a la fórmula un abrillantador fluorescente que compensa ópticamente el tono amarillo del sustrato semi-blanqueado. Dicho tono se produce por la absorción de la luz de longitud de onda corta azul-violeta, con lo

cual el abrillantador sustituye la luz perdida con luz ultravioleta invisible incorporándola a luz azul-violeta. Es por ello que en la zona del color azul, entre 440 y 460 nm existe un pico en la cual la reflectancia es mayor a 100%, lo que significa que se refleja más luz de la emitida por la fuente. De allí en adelante todos los colores son reflejados por igual, aproximadamente a partir de los 500 nm de longitud de onda.

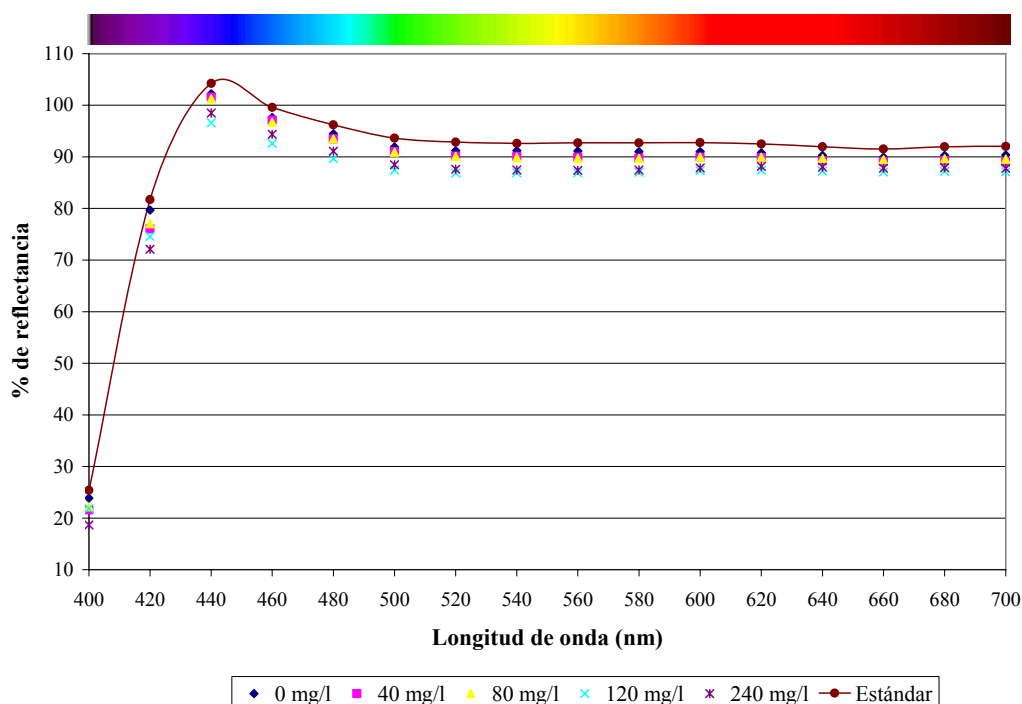


Figura N° 26. Grado de blanco en las muestras blancas

En el proceso de blanco-blanco se observa una leve influencia del agua de proceso sobre la calidad del producto final, probablemente por la buena acción del secuestrante utilizado, se puede asegurar que sólo existe riesgo importante sobre la calidad del producto final cuando se emplean aguas de dureza superior a 120 mg/l.

1.2.1.2.3. Teñido semi-continuo

El agua es el medio empleado para la dispersión y aplicación del tinte, justo desde el baño los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} pueden interferir con el proceso desmejorando la calidad del producto. La Tabla N° 30 reúne las principales pruebas de control de calidad realizadas a las muestras teñidas en forma semi-continua.

Tabla N° 30. Pruebas del control de calidad para el proceso de teñido semi-continuo

Dureza (mg/l)	Solidez al lavado (Escala de grises) *			Solidez al Frote (Tabla cromática)		Hidrofilidad Tiempo (s)
	Degradación	Transferencia según el género		Transferencia *		
		Similar	Distinto	Seco	Húmedo	
Estándar	≥ 4	----	≥ 3	≥ 3	≥ 3	< 6
0	4	2	3-4	4-5	4	5,8
40	4-5	2	3-4	5	4	3,0
80	4-5	2	3-4	5	4-5	3,1
120	4-5	1-2	3-4	5	3-4	4,2
240	4	1-2	3-4	4-5	4	8,3

(*) 5 no hay transferencia o degradación, 1 máxima transferencia o degradación.

Durante su vida útil las toallas son sometidas especialmente a dos agentes que pueden causar su deterioro: **(a)** el lavado doméstico y **(b)** el frote, la calidad del producto elaborado debe ser aquella que ofrezca desde la fabricación, la más alta solidez. La Figura N° 27 muestra la transferencia de color para el testigo de género similar, durante el ensayo de solidez al lavado para el agua de proceso de 0 mg/l.

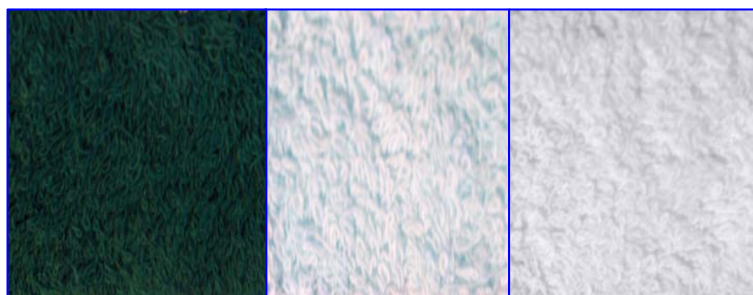


Figura N° 27. Evaluación de la transferencia del color para el ensayo de solidez al lavado (De izquierda a derecha: tono original, testigo manchado y testigo original)

En el proceso tintóreo el colorante que se encuentra en el baño se difunde a la superficie de la fibra, de allí reacciona con los sitios activos de la celulosa fijándose covalentemente. El colorante que no ha sido fijado pierde su estabilidad después de un tiempo y “muere”, este colorante “muerto” se retira durante el proceso de lavado propio del teñido. La solidez depende entonces de **(a)** la fuerza del enlace colorante-celulosa que se puede ver afectado por los iones calcio y magnesio y **(b)** de la eficiencia del lavado en cuanto a la eliminación del colorante muerto.

Todas las muestras laurel (clasificadas como tono oscuro), se encuentran igual o sobre la tolerancia para la degradación. Los colorantes mezclados para la obtención del tono, presentan según los datos suministrados por los fabricantes, solidez al cambio de color superior a 4 (ver Tabla N° 73 del apéndice B).

Los extremos (0 y 240 mg/l) presentan la menor solidez, lo que evidencia un cambio mayor en el tono de la muestra lavada respecto a la correspondiente original, la razón se debe a la ineficiencia de los lavados propios del proceso de teñido, con 0 mg/l y con alta carga de dureza (mayor a 150 mg/l) quedando sobre la toalla restos de colorante no absorbido por la fibra (colorante muerto) o débilmente fijado a la misma, estas formas de color le dan al tejido un tono aparente que desaparece luego del ensayo de lavado doméstico.

En la transferencia sobre testigos del mismo género (algodón) se observa en la Tabla 30 que la solidez es bastante baja (característica propia del color), reportándose los menores valores para las muestras teñidas con dureza de 120 y 240 mg/l. Esto porque el colorante débilmente fijado sigue siendo afín al algodón y una vez desprendido es capaz de colorear al testigo.

Las descargas evaluadas sobre testigos de género distinto (poliéster) reflejan solidez sobre la tolerancia para colores oscuros; cabe destacar que no existe una diferencia según el tipo de dureza empleada, lo que permite intuir que los complejos coloreados

que se desprenden en estos procesos con alta dureza, no son muy afines por la fibra de poliéster. El azul turquesa, que se encuentra en mayor proporción en la tricromía del tono, es el color que principalmente descarga, muestra solidez de 3-4 para la transferencia sobre género distinto según la casa fabricante, (ver Tabla N° 73 del apéndice B).

Los resultados de las pruebas de solidez al frote reflejan que todas las muestras ensayadas son aceptables tanto para la prueba en seco como en húmedo. En cuanto a la hidrofiliidad, los tonos oscuros presentan absorción regular (entre 2 y 6 s), sólo las muestras ensayadas con 240 mg/l se encuentran fuera del rango, el colorante muerto ubicado en la superficie de la muestra bloquea los sitios hidrofílicos de la fibra.

La Figura N° 28 muestra la variación amarillo-azul en la obtención del tono a través del parámetro b^* , mientras más negativo sea el valor, más azul es la muestra. Según ésta, sólo las muestras con 0 y 40 mg/l presentan un color aceptable

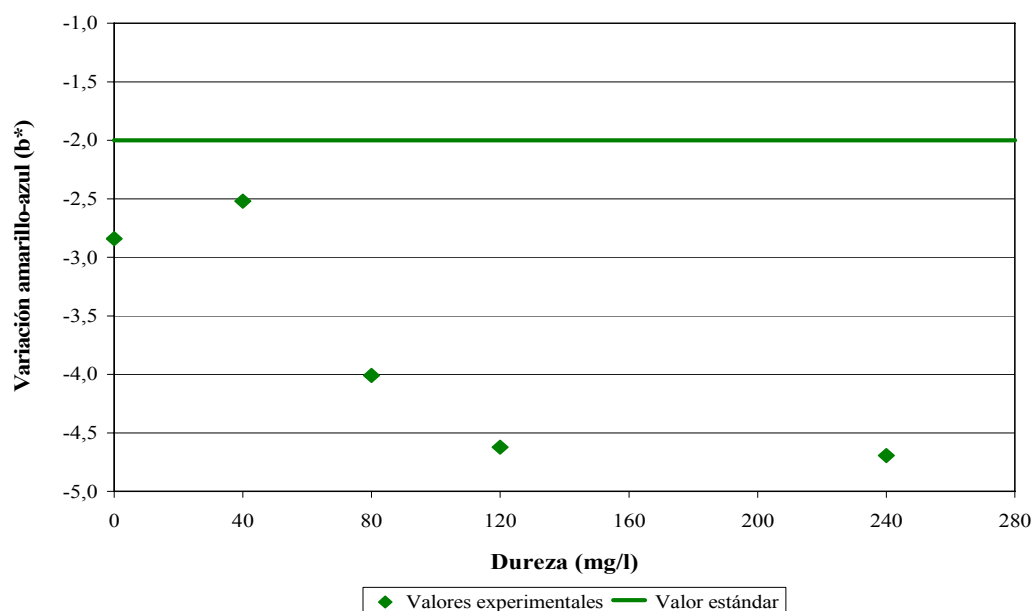


Figura N° 28. Variación de los colores amarillo-azul en las muestras del teñido semi-continuo

A medida que aumenta la dureza la muestra tiende a ser más azulada, esta desviación se debe a que algunos colores dentro de tricromía son más afines por el sustrato que otros, por tanto cuando las condiciones para la mezcla se ven alteradas, ellos tienden a fijarse individualmente en el sustrato.

El teñido semi-continuo se ve favorecido con los menores niveles de dureza: 0, 40 y 80 mg/l, sin embargo las muestras ensayadas con 0 mg/l aun cuando están más cerca del color estándar no resultan tan sólidas. Por su parte las muestras ensayadas con agua a 80 mg/l tienen buenas características físicas de solidez e hidrofiliidad pero no cumplen con el estándar de color.

1.2.1.2.4. Teñido continuo

El proceso de teñido continuo es el más complejo de los sistemas de tintura que se realizan en la empresa. La Tabla N° 31 reúne las principales pruebas de control de calidad realizadas a las muestras.

Tabla N° 31. Pruebas del control de calidad para el proceso de teñido continuo

Dureza (mg/l)	Solidez al lavado (Escala de Grises) *			Solidez al Frote (Tabla Cromática)		Hidrofilidad Tiempo (s)
	Degradación	Transferencia según el género		Transferencia *		
		Similar	Distinto	Seco	Húmedo	
Estándar	≥ 4	----	≥ 4	≥ 4-5	≥ 4	< 1
0	4-5	4-5	4-5	5	5	< 1
40	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
80	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
120	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
240	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1

(*) 5 no hay transferencia o degradación, 1 máxima transferencia o degradación.

Los colorantes tina en procesos continuos se destacan por una elevada solidez a diferentes agentes y una vez que el colorante ha sido fijado correctamente resulta

complicado separarle de la fibra. En la Tabla N° 73 del apéndice B se observa que tanto el Pardo tina BR y el Verde Oliva tina B tienen solidez muy elevadas. En el proceso de fijación y correcta coloración con colorantes tina, los iones del agua pueden afectar en la estabilidad del baño, en la adición el agente reductor a la tina de químicos donde se forma el leucoderivado altamente sensible a los iones metálicos y en la tina de oxidación acelerando la descomposición del agua oxigenada.

La Figura N° 29 muestra la transferencia de color para el testigo de género similar, durante el ensayo de solidez al lavado para el agua de proceso de 0 mg/l.

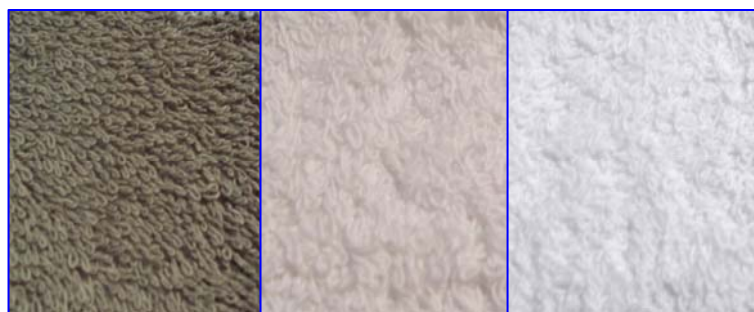


Figura N° 29. Evaluación de la transferencia del color para el ensayo de solidez al lavado (De izquierda a derecha: tono original, testigo manchado y testigo original)

Por su parte la hidrofiliidad del sustrato es buena y se debe en parte a la utilización de colores claros en el teñido que no desmejoran la absorción del tejido. Los valores son similares para todos los análisis realizados siendo catalogadas como “instantánea” la absorción.

La evaluación del color va a permitir determinar la diferencia de las muestras en función al tipo de dureza utilizada. La luminosidad es de particular atención en la materia de tonos claros, la Figura N° 30 muestra que a medida que aumenta la dureza, la luminosidad disminuye alejándose del estándar. La causa está relacionada con la etapa de reducción y oxidación del proceso, donde se le confiere el matiz y el tono final a la tintura. Como se explicó, los iones tienen una fuerte influencia sobre el

leucoderivado desestabilizando la formación transitoria del compuesto pudiendo alterar el tono final del teñido una vez que éste es oxidado.

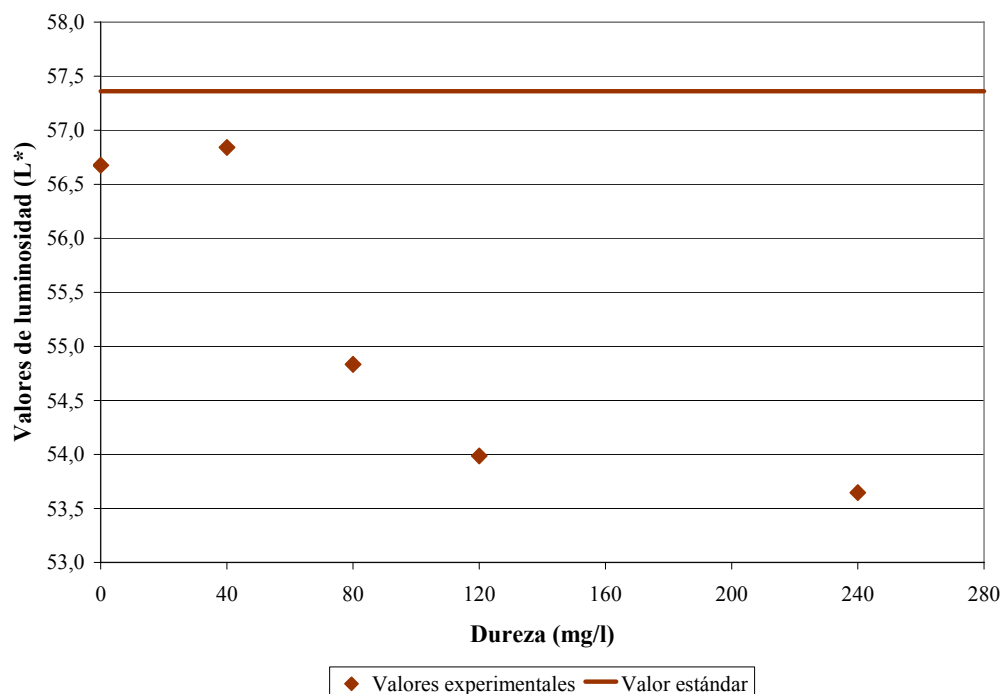


Figura N° 30. Variación de la luminosidad en las muestras del teñido continuo

Los colorantes utilizados en la obtención del tono son el pardo (tono rojizo) y verde oliva (tono verde), por lo cual se estudiará la variación rojo-verde o parámetro a^* mostrado en la Figura N° 31.

Como se explicó, existe una fuerte debilidad de los colores rojos a los iones causantes de la dureza y es dentro de la tina de colorantes cuando los iones atacan la estabilidad del baño tintóreo acompañado y disminuyendo la capacidad de teñir del color rojo. En este sentido, el pardo tina tiende a establecerse más fácilmente en las muestras evaluadas con aguas de dureza baja.

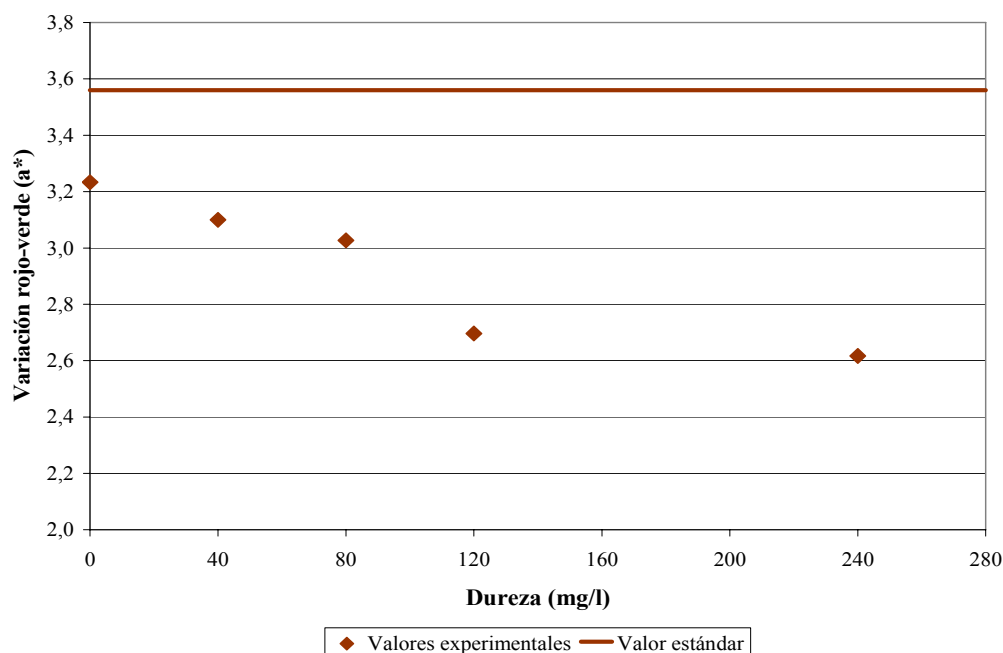


Figura N° 31. Variación de los colores rojo-verde en las muestras del teñido continuo

El proceso de teñido continuo puede verse favorecido con aguas de proceso con una dureza de 0 y 40 mg/l ya que cumple con todos los criterios de control de calidad especialmente con el parámetro de luminosidad.

1.2.1.2.4. Teñido por agotamiento

El colorante empleado pertenece al tipo reactivo capaz de reaccionar no sólo con la celulosa, sino también con el agua formando el colorante hidrolizado. Este colorante hidrolizado ha perdido la capacidad de formar enlaces covalentes con la fibra pero puede ser absorbido como colorante de menor afinidad causando baja solidez al lavado, como se muestra en la Tabla N° 32.

La degradación sufrida por las muestras luego de ser sometidas a condiciones de lavado doméstico es mayor a la mínima esperada para un tono medio. Las muestras ensayadas con 0 y 40 mg/l presentan la menor solidez, lo que indica que el lavado

durante el procedimiento no es suficiente para eliminar el colorante muerto; el débilmente fijado, el colorante hidrolizado e incluso los restos de detergente que le dan una coloración aparente a las muestras. La eliminación de estas formas de color si se efectúan durante el lavado doméstico de lo que resulta la diferencia entre la muestra y su original.

Tabla N° 32 Pruebas del control de calidad para el proceso de teñido por agotamiento

Dureza (mg/l)	Solidez al lavado (Escala de Grises) *			Solidez al Frote (Tabla Cromática)		Hidrofilidad Tiempo (s)
	Degradación	Transferencia según el género		Transferencia *		
		Similar	Distinto	Seco	Húmedo	
Estándar	≥ 4	----	≥ 4	≥ 3-4	≥ 3-4	< 1
0	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
40	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
80	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
120	4-5	2-3	4-5	4-5	4	<1
240	4-5	3	4-5	4-5	4	<1

(*) 5 no hay transferencia o degradación, 1 máxima transferencia o degradación.

La Figura N° 32 muestra la transferencia de color para el testigo de género similar, durante el ensayo de solidez al lavado para el agua de proceso de 0 mg/l.

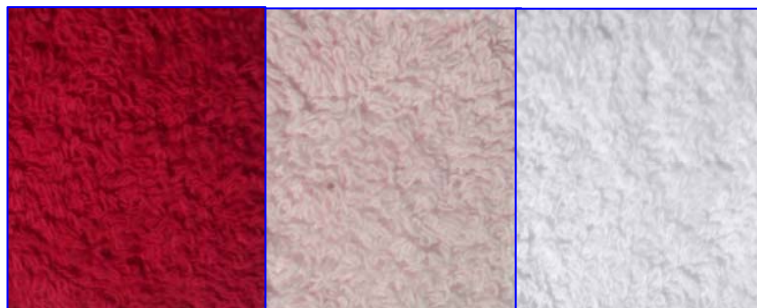


Figura N° 32. Evaluación de la transferencia del color para el ensayo de solidez al lavado (De izquierda a derecha: tono original, testigo manchado y testigo original)

En las tinturas por agotamiento a diferencia de las realizadas por fulardado, la cantidad de detergente usado en el lavado esta íntimamente relacionado con el peso de muestra que a su vez determina la cantidad de agua en el baño. A nivel

experimental, en los teñidos por fulardado, se emplean 4 ml/l para el lavado de tres muestras, pero en el teñido por agotamiento se emplea la misma concentración pero en esta oportunidad se lava sólo una muestra.

Las descargas evaluadas sobre testigos de género distinto y las pruebas de solidez al frote reflejan valores superiores a la tolerancia y no existen diferencias según el tipo de dureza empleada, lo mismo ocurre con la hidrofiliidad, que resultan ser instantánea para todas las muestras.

La variación del tono rojo en función de la dureza del agua se observa en la Figura N° 33. Como el teñido no se realiza dentro de la empresa, el estándar es proporcionado por la casa fabricante.

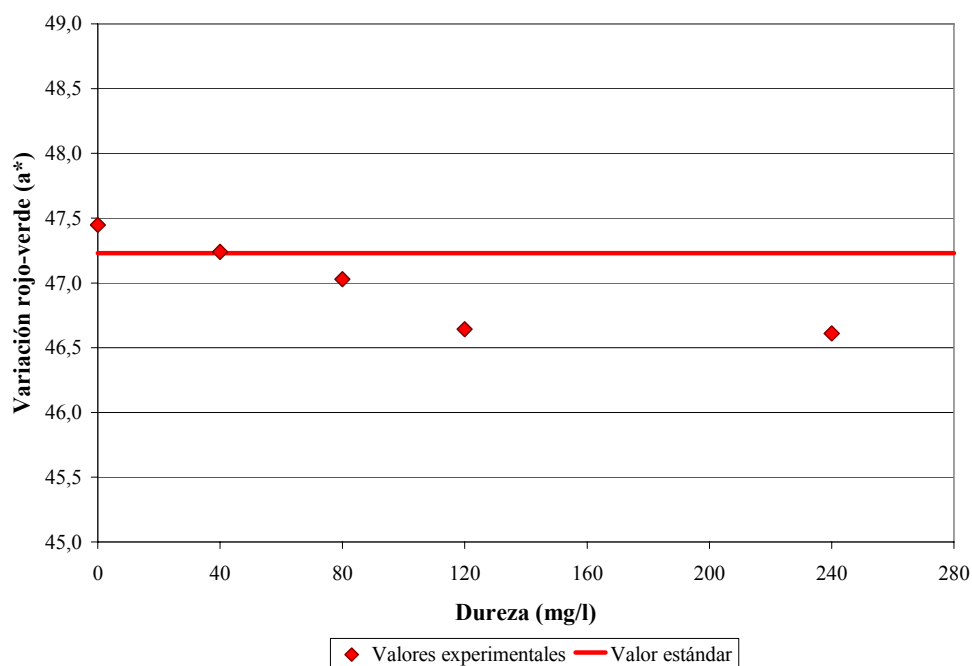


Figura N° 33. Variación del color rojo en las muestras teñidas por agotamiento

La variación del rojo para todos los niveles de dureza es mínima y la evaluación del parámetro correspondiente, muestra que todos los ensayos se encuentran próximos al

estándar, la mayor diferencia se registra en los niveles de dureza 120 y 240 mg/l, pero al igual que el resto se encuentran dentro de la tolerancia, esto revela que según el estudio realizado la dureza del agua no ejerce influencia en la obtención del tono, pudiéndose justificar con la baja relación de baño empleada (1:6) y la utilización de un colorante ampliamente estable en aguas de dureza moderada.

Entonces la calidad del producto teñido por agotamiento va a depender de dos factores: **(a)** un sustrato óptimo, blanqueado adecuadamente con niveles de dureza y pH controlados y **(b)** un colorante con alta afinidad sobre la fibra textil.

Una vez realizado el programa de muestreo experimental y analizado los resultados obtenidos se pueden resumir los valores de dureza que favorecen al proceso productivo en la Tabla N° 33.

Tabla N° 33. Valores de dureza adecuados en los procesos de acabado de T.P.G.

Proceso	Valores de dureza (mg/l)
Descrude de hilos	0, 40, 80 y 120
Teñido de hilos	0 y 40
Blanqueo de tejidos	40 y 80
Blanco-blanco	0, 40 y 80
Teñido semi-continuo	40
Teñido continuo	0 y 40
Teñido por agotamiento	No hay influencia

La infraestructura actual para la distribución del agua de proceso (sistema de tuberías) permite que dentro de la planta de acabado se emplee un solo valor de dureza en el agua debiéndose seleccionar aquel que no afecte al producto terminado. En base a esto 40 mg/l cumple con las exigencias de calidad para todos los procesos de acabado evaluados.

2. Propuestas, acciones y mecanismos de control

2.1. Reformulación del proceso de blanqueo

La mayoría de los productos químicos auxiliares son una mezcla con varias propiedades o funciones. Han sido elaborados por la necesidad y sencillez que proveen al operador al adicionar un solo producto. Cuando se realiza el descrude de hilos se adiciona Allperse que es un secuestrante, detergente y dispersante; en el teñido de hilos se agrega Tricar P que es un auxiliar secuestrante-dispersante; en el blanqueo y blanco-blanco de tejidos se adiciona Detercar que es un humectante, detergente y secuestrante; en el teñido semi-continuo no se adiciona un auxiliar químico antes de la etapa de fijación y en el teñido continuo y por agotamiento se agrega Allperse.

Dada la mezcla de propiedades que posee cada uno de los auxiliares químicos, resulta complejo disminuir las concentraciones utilizadas sin provocar un efecto no deseado en el textil, ya que en la fórmula no se estaría disminuyendo solamente la cantidad de secuestrante, sino por ejemplo, el contenido de detergente o dispersante que se adiciona. Es por ello que en los procesos como descrude y teñido de hilos, teñidos continuo y por agotamiento no resulta posible realizar el análisis de reformulación.

En las etapas de blanqueo y blanco-blanco, ambas de similares características, es posible realizar el estudio de reformulación, ya que en estos procesos además del Detercar existe otro auxiliar (Tensocar: detergente, humectante y dispersante) que compensaría la disminución de las propiedades distintas a las secuestrantes. Producto de la similitud de ambos procesos se realizó el estudio sólo para el blanqueo, cuyos resultados pueden ser aplicables también para el proceso de blanco-blanco.

La disminución del auxiliar (Detercar) se llevó a cabo de manera porcentual, es decir, se adicionó el contenido de secuestrante en 100, 70, 50 y 0 %; aplicándose las mismas

pruebas de control de calidad textil del proceso de blanqueo y utilizando el agua de proceso con una dureza de 40 mg/l. La Tabla N° 34 refiere los resultados encontrados por porcentaje de secuestrante utilizado.

Tabla N° 34. Pruebas de control de calidad para las muestras de la reformulación

% de secuestrante utilizado	Resistencia a la tensión (lb)		Contenido de dureza en la tela (mg/l)	pH de la tela	Hidrofilidad Tiempo (s)	Contenido de almidón
	Sentido					
	Urdimbre	Trama				
100	66,5	51,5	32	7,6	<1	5,0
70	68,0	50,5	36	7,4	<1	5,5
50	65,0	51,0	40	7,8	<1	5,5
0	54,0	44,5	72	7,3	<1	5,5

La resistencia a la tensión no se vio afectada cuando se modificó la fórmula hasta un 50%, sabiendo que los mínimos valores permitidos para el proceso de blanqueo en los sentidos de urdimbre y trama son de 65 ± 5 lb y 49 ± 5 lb respectivamente. Cuando no se adicionó el secuestrante, el producto resultó fuera de estándar por ser un tejido muy débil y por debajo del mínimo valor en la urdimbre y apenas en el límite inferior estimado para la trama.

Los valores de resistencia indican que disminuyendo el secuestrante incluso a la mitad de la concentración actual, el tejido no sufre debilitamiento como consecuencia del efecto de los iones sobre la descomposición descontrolada del peróxido de hidrógeno. Sin duda, el contenido de dureza en el agua (40 mg/l) no aporta de manera sustancial iones calcio y magnesio a la fórmula de blanqueo, lo que permite la reducción en 50% del secuestrante sin perjudicar al producto.

Cuando se observa el contenido de dureza en el tejido, se tiene que hasta un 50% de disminución del secuestrante, la dureza contenida en el sustrato es menor a 40 mg/l, mientras que la muestra tratada sin secuestrante contiene 72 mg/l. En esta oportunidad el tejido crudo utilizado presentó una dureza de 104 mg/l (mucho más elevada que la utilizada en las pruebas regulares), por ello a pesar de utilizar un agua

de proceso con dureza de 40 mg/l, existe dureza en el tejido luego de ser procesado. En todos los casos, este contenido disminuye por debajo del valor inicial, sin embargo no es recomendable permitir un contenido de dureza tan elevado como el que presenta el ensayo sin secuestrante pues podría perjudicar la etapa de tintura.

El pH, la hidrofiliidad y el contenido de almidón no se ven afectados por el cambio del de la fórmula, los valores obtenidos para estos parámetros se encuentran dentro de los rangos de procesos aceptables y cercanos a los valores reportados para las pruebas originales de blanqueo con un valor de dureza de 40 mg/l (ver Tabla N° 27). Dentro del proceso de blanqueo, uno de los ensayos de calidad más importante es el grado de blanco, ilustrado por el porcentaje de reflectancia de la muestra, dicha medida se muestra en la Figura N° 34.

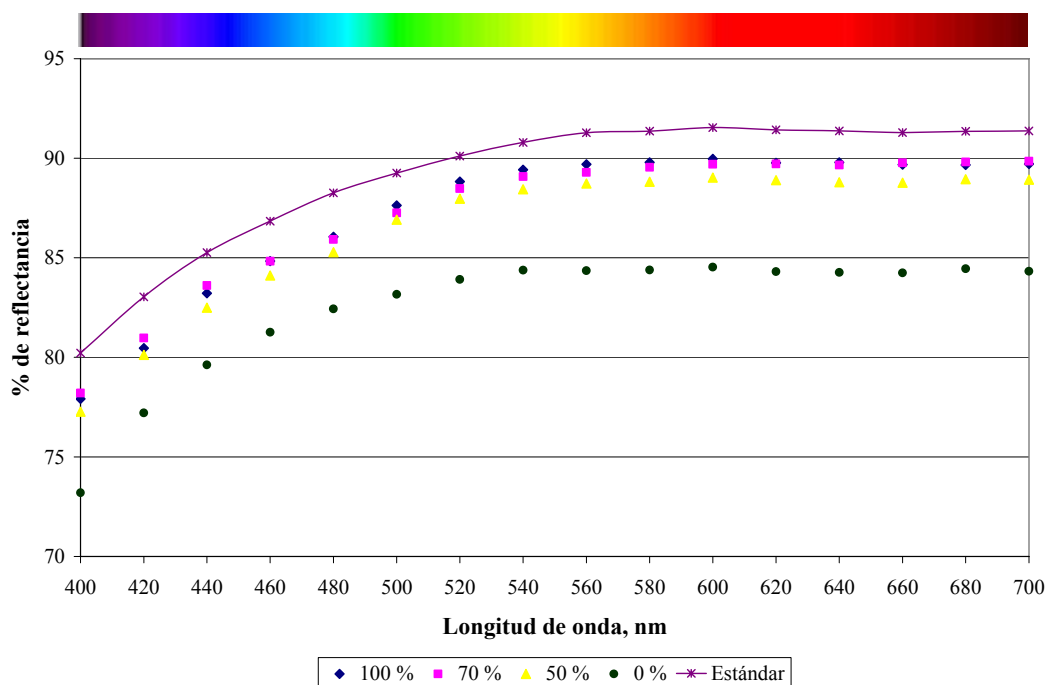


Figura N° 34. Grado de blanco para las muestras semi-blanqueadas en la reformulación

Se observa que los ensayos con una concentración de secuestrante de 100, 70 y 50% del contenido original se encuentran muy cerca entre sí y del estándar, mientras que el

grado de blanco del ensayo al 0% es totalmente deficiente. Al calcular la desviación existente entre los datos experimentales y los datos que conforman a la muestra estándar (ver Tabla N° 75 de apéndice C) se observa que hasta un 50% de reducción del secuestrante el error es menor a 4% (tolerancia máxima permitida), mientras que para el ensayo al 0% el error corresponde a 7,4%.

Sin duda los niveles de dureza en el tejido, influyen principalmente en el grado de blanco, al no adicionar secuestrantes la limpieza no se realiza eficientemente y el textil continua amarillento. Sin embargo, se puede reducir hasta en un 50% el auxiliar sin afectar el aspecto de blancura de la muestra, si se utiliza un agua de dureza apropiada (40 mg/l según el estudio realizado).

El mismo análisis que se realiza para el blanqueo, puede aplicarse al proceso de blanco-blanco, por la similitud entre ambos. Resultaría importante poder extender el estudio para los teñidos tanto de hilos como de telas, siempre que los auxiliares utilizados sean sustituidos por otros que permitan reducir el contenido de secuestrante sin afectar las demás propiedades requeridas por los procesos.

2.2. Evaluación y propuesta del sistema de suavización

Como se mencionó en la descripción del proceso, el sistema de suavización consta de cuatro suavizadores, dos de ellos operan para generar la calidad del agua de proceso, las condiciones físicas de estos equipos se presenta en la Tabla N° 35.

Para una correcta fluidización del lecho de resina durante el retrolavado, teóricamente el espacio libre entre el distribuidor del equipo y la parte superior del lecho debe corresponder al 30 % del volumen del equipo (el espacio vacío debe ser de 1,26 m³). Se observó el interior de los suavizadores y se determinó que el volumen de resina corresponde a porcentajes que van desde 40% hasta 57% del volumen del suavizador

dejando como porcentaje de espacio libre desde 43% en el mejor de los casos hasta 60% en el caso más desfavorable.

Tabla N° 35. Características físicas del sistema de suavización actual

Características \ Suavizador	S-1	S-2	S-3	S-4
Altura del suavizador (m)	3,7	3,7	3,7	3,7
Diámetro del suavizador (m)	1,2	1,2	1,2	1,2
Volumen del suavizador (m ³)	4,2	4,2	4,2	4,2
Altura de la resina (m)	1,5	1,6	2,1	1,9
Volumen de resina (m ³)	1,7	1,8	2,4	2,2
Porcentaje de espacio libre (%)	60	57	43	49
Relación altura/diámetro de la resina	1,3	1,3	1,8	1,6

Las diferencias y disminución del volumen de resina en cada uno de los suavizadores, se deben a una mala operación de regeneración, específicamente durante el retrolavado donde un caudal de agua excesivo provocado por un mal manejo de las válvulas de desagüe, permite la salida de resina del equipo. Es por ello que en todos los equipos los niveles de resina son bajos, cuando originalmente estos contenían 2,93 m³ de resina de tal forma que el porcentaje de espacio libre correspondía al 30%. En el S-3 donde se observa un menor espacio libre, se sabe que recientemente se reintrodujo resina al equipo.

La relación diámetro/altura del lecho de la resina que presentan los suavizadores, indica que la altura supera al diámetro en más de 1,3 cuando lo recomendado es 1. Cuando la altura sobrepasa esta relación, es común que ocurra deterioro en la resina que se ubica en el fondo del suavizador, el peso del lecho ocasiona fracturas en los cuerpos sólidos, reduciendo el porcentaje de esfericidad lo que se traduce en una disminución total de la capacidad de suavización, además se obtienen peores resultados en el retrolavado porque se hace más difícil eliminar las impurezas de la resina superior. Otra desventaja de la mala relación diámetro-altura es la formación de canales dentro de la cama de resina que ocasionan un bajo rendimiento operacional.

Tanto el porcentaje de espacio libre como la relación altura-diámetro se encuentran fuera de los valores recomendado, básicamente por un mal diseño en los equipos, pues la altura de los mismos superó ampliamente al diámetro, con lo cual resulta imposible distribuir la resina manteniendo la relación del lecho 1:1 a la vez que el porcentaje de espacio libre es de 30% del volumen del suavizador.

Es importante mencionar que durante la inspección de los suavizadores se detectaron grandes problemas de corrosión e incrustación debidos principalmente a la salmuera. La cantidad de oxido dentro del equipo afecta notablemente a las partículas de resina contaminándolas con hierro insoluble lo cual disminuye su capacidad de intercambio que a su vez determina la eficiencia de una resina. Esta forma de hierro queda atrapada en el cuerpo de la resina y no pasa al agua de proceso. Esta capacidad reducida de intercambio es debida también a la cantidad de partículas fracturadas existentes en el lecho. La Tabla N° 36 muestra el análisis de las resinas en cada uno de los suavizadores.

Tabla N° 36. Análisis de la resina en el sistema de suavización

Resina Parámetros	Original	S-1	S-2	S-3	S-4
Capacidad de intercambio iónico (Kgrano/Pie ³)	43,7	16,3	17,0	18,4	16,9
Porcentaje de la capacidad de intercambio (%)	-----	37	39	42	39
Porcentaje de esfericidad (%) *	Min. 95	80	80	80	80
Hierro Fe ²⁺ (mg/l) *	0	566	874	590	676

(*) El análisis de estos parámetros fue realizado por la empresa Q-VAR C.A

Cuando los valores experimentales de la capacidad de intercambio (el cálculo de la evaluación del intercambiador iónico ciclo sódico se encuentra en el apéndice E) son comparados con el dato original provisto por el fabricante para la resina, se puede obtener la eficiencia del sistema, estas son 37% para el S-1, 39 % para el S-2, 42% para el S-3 y 39% para S-4. Una capacidad de intercambio inferior al dato provisto

por el fabricante, trae como consecuencia la necesidad de regenerar con mayor frecuencia.

Generalmente, las resinas tienen un tiempo de vida útil de 10 años aproximadamente. Durante ese tiempo, el área efectiva de la esfera de resina disminuye su tamaño y capacidad de intercambio producto de la erosión y el peso de los granos superiores sobre los inferiores durante su funcionamiento normal y el retrolavado; el envenenamiento con hierro insoluble producto de la corrosión de los tanque contenedores del lecho, así como la cantidad y calidad de las regeneraciones también influye en la operatividad de la resina. Esto explica porque el porcentaje de esfericidad de la resina disminuye a 80% y su contenido de hierro aumenta de forma sustancial.

Con base en los reportes encontrados para la resina actual, se recomienda su reemplazo inmediato por su baja operatividad. No es recomendable añadir resina nueva sobre la vieja, pues el peso de la columna podría terminar de desintegrar la resina. Experimentalmente se puede determinar la capacidad de una resina si se conoce el volumen de resina, la dureza del agua cruda y los volúmenes de agua procesados antes de que a la salida del suavizador se detecte dureza. Los datos del sistema de suavización actual se muestran en la Tabla N° 37.

Tabla N° 37. Características del proceso de suavización actual

Suavizador Características	S-1	S-2	S-3	S-4
Volumen promedio de agua tratada (m ³) ⁽¹⁾	527	584	835	691
Desviación del volumen de agua tratada (m ³) ⁽¹⁾	83	56	43	60
Caudal de operación (m ³ /h)	15	15	12	14
Dureza del agua cruda (mg/l)	120	120	120	120
Tiempo de operación (h) ⁽²⁾	35	39	70	49
Consumo de sal (Kg/año)	35.400	31.800	17.700	25.200

(1) Ver Tabla N° 77 del apéndice C. (2) Diariamente los equipos trabajan 16 h.

Las desviaciones de los datos obtenidos de cada uno de los suavizadores son altas denotando variaciones en la cantidad de agua procesada, esto refleja sin duda la falta de control, algunos equipos son regenerados mucho después de comenzar a detectarse la dureza o las regeneraciones realizadas son deficientes por lo cual la dureza aparece antes de tiempo.

Los tiempos de operación de cada uno de los equipos varían considerablemente. En el S-3 como ya se mencionó, existe un mayor volumen de resina y en consecuencia, el volumen de agua a tratar es mayor, sin embargo el caudal de este equipo es el menor de todos ($12 \text{ m}^3/\text{h}$). Esto porque el fluido prefiere pasar a través de los suavizadores con menor volumen de resina (menor caída de presión), por ello que el equipo S-3 tiene un tiempo mayor entre regeneraciones.

De estas consideraciones de operación se deduce la necesidad de la controlar el proceso de suavización tanto para la etapa de servicio como de la regeneración. Para lograr una reestructuración integral de la planta de tratamiento de agua industrial, es preciso puntualizar otro tipo de fallas que se detectaron:

- La estación de bombeo no se encuentra en las inmediaciones de la empresa, presenta gran deterioro en su infraestructura física así como condiciones inseguras para la operatividad.
- Dentro de T.P.G. no existe un laboratorio de aguas para los análisis fisicoquímicos, actualmente sólo se realizan ensayos de dureza en el laboratorio textil. Los análisis de dureza realizados por los operarios a cada suavizador se basan sólo en el cambio de color de la muestra, sin medir los mg/l de CaCO_3 en el agua que se entrega al proceso, es justamente en este punto donde se deben hacer las pruebas fisicoquímicas más rigurosas (dureza, alcalinidad, pH, turbidez, hierro y manganeso) para verificar el cumplimiento de la calidad del agua necesaria para el proceso textil.

- Los medidores de caída de presión de cada uno de los filtros se encuentran en servicio, pero no son usados para conocer la necesidad de retrolavar el equipo, típicamente se debe iniciar el lavado cuando indican de 4 a 6 psi sobre la presión reportada cuando los tanques están limpios. Debe garantizarse el óptimo funcionamiento de los filtros proporcionándoles el mantenimiento adecuado.
- Dentro de la planta de tratamiento de agua existe escasa información técnica referida a equipos y/o estructuras en operación actual (bombas, sopladores, tanques, tuberías, válvulas de control, paneles de control, etc.), existe además ausencia de registros histórico de fallas que permitan retroalimentar a los operadores, supervisores y personal técnico en general sobre posibles acciones correctivas a realizar ante problemas existentes.

El 80% de la planta de tratamiento de agua industrial no cuenta con instrumentos de medición, esto introduce atrasos al momento de establecer control y mejoras del proceso. Algunos de estos instrumentos se muestran en los planos de la planta de tratamiento.

Se requieren instrumentos de medición de flujo en los siguientes puntos:

- En la tubería que conecta a los tanques TK-102 A/B/C y TK-103, para determinar la cantidad de agua que ingresa a la planta de tratamiento.
- A la salida del tanque elevado TK-105, con el objetivo de censar el consumo de agua en la planta.

Se requieren indicadores de nivel en los siguientes equipos:

- En los tanques de la colina TK-102 A/B/C. Se debe colocar los indicadores en el panel de control de la sala de calderas permitiendo al operador una vez alcanzado el nivel máximo, desviar manualmente el flujo de agua hacia otro tanque (por ejemplo el de reserva) y evitar así la pérdida del líquido.

Se requieren medidores de presión en:

- A la salida de las bombas P-102 A/B, P-103 A/B/C, P-105, P-104 A/B, P-106, para verificar el correcto funcionamiento de estos equipos.

2.2.1. Propuesta de reforma para el sistema de suavización

Las reformas que a continuación se presentan, responden a todos los cambios necesarios en el sistema de suavización para obtener la dureza del agua requerida por el proceso de acabado de la empresa y ésta dirigido principalmente hacia el rediseño del sistema de suavización actual, la creación de un laboratorio de aguas y de un manual de operaciones técnicas, estos últimos como mecanismos de control.

El diseño del sistema de suavización se basa en la necesidad del cumplimiento de los criterios básicos en un suavizador: máxima capacidad de intercambio, adecuada relación diámetro-altura del lecho y óptimo espaciado libre para la correcta fluidización del lecho durante el retrolavado.

Para suavizar el agua se requieren como mínimo dos unidades de suavización, una operativa y otra en reserva (para cuando inicie el periodo de regeneración de la unidad en servicio). La primera propuesta para la obtención del agua de dureza adecuada, consiste en ***el diseño de un tren de suavización de dos unidades*** como muestra la Figura N° 35.

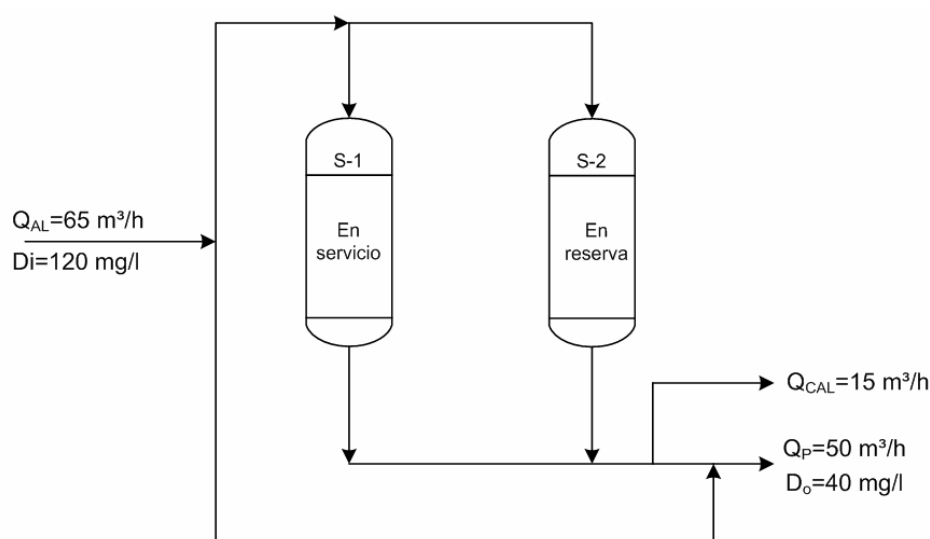


Figura N° 35. Esquema de suavización. Tren de dos unidades

El efluente del sistema esta dividido en dos, el caudal necesario para la generación de vapor ($15 \text{ m}^3/\text{h}$) y el requerido para la mezcla del agua de proceso; cuando se suspende el flujo para la caldera el flujo de alimentación al suavizador en servicio debe disminuir en $5 \text{ m}^3/\text{h}$, para evitar que la mezcla filtrada y suavizada exceda el requerimiento de dureza (40 mg/l). Las características de las unidades que componen esta propuesta se muestran en la Tabla N° 38.

Tabla N° 38. Condiciones operacionales. Tren de dos suavizadores

Características del equipo	
Alimentación a la unidad (m^3/h)	48,3
Dureza del agua cruda (mg/l)	120
Volumen de la unidad (m^3)	2,8
Diámetro de la unidad (m)	1,4
Altura de la unidad (m)	1,9
Volumen de agua tratada (m^3)	1650
Tiempo en servicio (h)	35
Características de la resina	
Capacidad de intercambio (Kgrano /pie^3)	43,7
Volumen de resina (m^3)	2,0
Requerimiento de regenerante (Kg/pie^3)	5,7
Consumo de sal por regeneración (Kg)	400

La dureza del agua cruda empleada para el diseño es un promedio calculado, si este valor aumenta, disminuye el tiempo de servicio de la unidad y con esto el volumen de agua tratada. La planta de tratamiento de agua industrial opera 16 h diarias y por ello el tiempo de servicio de las unidades antes de la aparición de dureza y la correspondiente regeneración, se traduce en poco más de dos días. Para la estimación del consumo de regenerante, se utilizó el máximo requerimiento de la resina según datos suministrado por el fabricante (ver Tabla anexa N° 76). Comercialmente existen muchas combinaciones diámetro altura para estos equipos, pero se debe seleccionar aquel que más se acerque al diseño presentado.

La segunda propuesta consiste en el **diseño de un tren de suavización de tres unidades**, dos unidades en servicio y una en reserva o periodo de regeneración tal como se observa en la Figura N° 36.

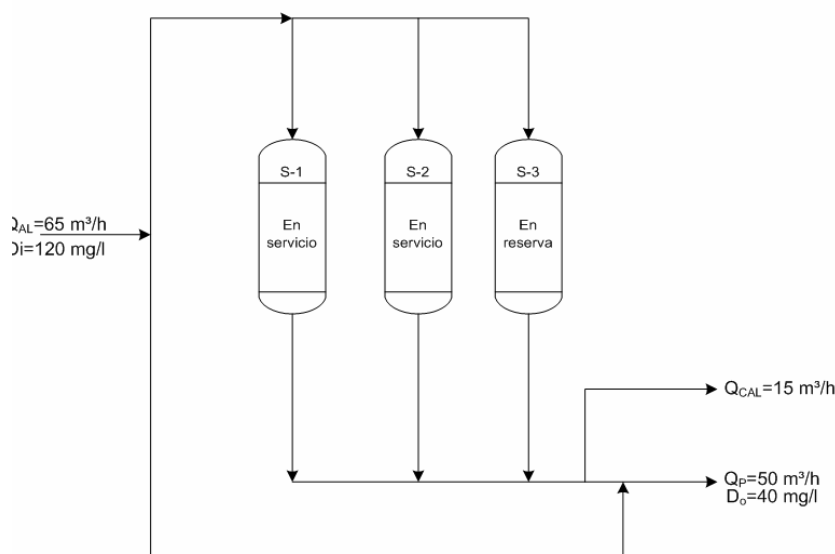


Figura N° 36. Esquema de suavización. Tren de tres unidades

Los efluentes de las unidades en servicio para el proceso se unen y el producto es dividido en dos, el caudal necesario para la generación de vapor y el caudal que se mezcla con el agua del bypass para generar el agua de proceso; cuando el flujo para la caldera se suspende, la alimentación a los suavizadores debe aumentarse en 5 m³/h,

para evitar que la mezcla filtrada y suavizada exceda el requerimiento de dureza (40 mg/l). Las características de las unidades de esta propuesta se resumen en la Tabla N° 39 (el cálculo correspondiente se presenta en el apéndice D, resultando ser similar al aplicado en la propuesta anterior).

Al igual que en la propuesta anterior cuando el valor de dureza de la alimentación supera el promedio, el tiempo de servicio de la unidad disminuye al igual que el volumen de agua tratada. El tiempo de servicio de las unidades antes de la detección de dureza y la correspondiente regeneración resulta en 2,5 días.

Tabla N° 39. Condiciones operacionales. Tren de tres suavizadores

Características del equipo	
Alimentación a cada unidad (m ³ /h)	24,2
Dureza del agua cruda (mg/l)	120
Volumen de la unidad (m ³)	1,6
Diámetro de la unidad (m)	1,1
Altura de la unidad (m)	1,6
Volumen de agua tratada (m ³)	943
Tiempo en servicio (h)	39
Características de la resina	
Capacidad de intercambio (Kgrano /pie ³)	43,7
Volumen de resina (m ³)	1,1
Requerimiento de regenerante (Kg/pie ³)	5,7
Consumo de sal por regeneración (Kg)	228

La eficiencia de un sistema de suavización no sólo se refleja en la capacidad de intercambio de la resina, cuando se desea obtener un agua de dureza específica, el consumo de regenerante, el volumen de agua tratada y el tiempo en servicio indican también la eficiencia de los suavizadores. La Tabla N° 40 muestra la comparación entre ambos sistemas.

Para ambas propuestas se sugiere establecer periodos de inspección y limpieza de estos equipos para evitar interferencia en la calidad de las aguas, esta inspección permitirá garantizar que todos los suavizadores tengan el nivel y la eficiencia apropiada de la resina.

Tabla N° 40. Cuadro comparativo de las propuestas de suavización

Tren de dos suavizadores	Tren de tres suavizadores
a. Se requieren 121 regeneraciones al año. Un menor número de regeneraciones simplifica el trabajo de los operarios disminuyendo su influencia en la obtención de la calidad del agua. b. El consumo de sal es de 48.400 Kg al año. c. El requerimiento total de resina es de 4 m³. d. Al ser menos equipos los costos de instalación (tuberías, conexiones, etc.) serán menores. e. Periodos de inspección y mantenimientos más cortos durante las paradas de planta.	a. Se requieren dos regeneraciones casi simultáneas para un total de 211 al año. b. El consumo de sal es de 48.108 Kg al año. c. El tren en general requiere un volumen de resina: 3,4 m³ al cumplirse el tiempo de vida útil los costos de sustitución de este activo serán menores.

Para mantener la calidad del agua que se envía al proceso de acabado es preciso estar atentos a las posibles eventualidades que se originen en torno a las fuentes de suministro y a los equipos involucrados, por ejemplo falla en el abastecimiento de Hidrocapital, mal retrolavado de los filtros, deficiente regeneración de los suavizadores, etc. Como acción preventiva se propone el desarrollo de un laboratorio de agua donde puedan realizarse los análisis básicos: alcalinidad, dureza, pH, e incluso sólidos disueltos (como servicio al tratamiento de la caldera).

En la sección “Sala de Calderas” donde funciona la planta de tratamiento de agua industrial existe un espacio en donde operó hace algún tiempo el laboratorio de agua y en donde puede instalarse nuevamente; el material y reactivos necesarios para las pruebas es bastante sencillo (buretas, pipetas, fiolas, etc.) y se resumen en la Tabla N° 41. Cada uno de los análisis a realizar se encuentra totalmente descrito en el manual de operaciones técnicas realizado.

Tabla N° 41. Material y reactivos requerido en el laboratorio de aguas

Cantidad	Descripción
4	Enlenmeyer, boca angosta de 250 ml.
2	Vasos de precipitado de 100 ml.
1	Vasos de precipitado de 250 ml.
1	Vasos de precipitado de 500 ml.
2	Propipeta manual
3	Buretas tipo schiling de 25 ml. con botella de poliestireno de 1 l.
2	Buretas completas de 25 ml. con botella de 2 l. Vidrio ámbar
1	Cilindro Graduado de 25 ml.
1	Cilindro Graduado de 50 ml.
1	Cilindro Graduado de 100 ml.
2	Pizeta de polietileno de 500 ml
1	Medidor combinado de pH- Conductividad
1	Fenolftaleina. 100 g
1	Anaranjado de metilo. 100 g

Otra herramienta para establecer el control de la obtención del agua de calidad requerida y más aun para establecer el control de la planta de tratamiento es el *manual de operaciones*, que pretende implementar un sistema de calidad idóneo y eficaz que permita facilitar las actividades del tratamiento de aguas blancas, garantizando a su vez el control de los procedimientos.

Los procedimientos contenidos en el manual forman parte de la documentación básica exclusiva de la **“Sala de caldera y preparación de agua industrial”** de la C.A. Telares de Palo Grande, ya que describe con gran detalle las actividades, las rutinas de operación y las responsabilidades de los trabajadores involucrados. Parte de la información encontrada en el manual fue extraída de la documentación técnica disponible en los archivos de la empresa, donde se almacenan datos de las casas fabricantes de los equipos y planos de la sección, etc. También cuenta con la valiosa contribución del supervisor de la sala y de los operarios, quienes con su experiencia ayudaron crear la estructura de los procedimientos de operación.

El manual incluye los aspectos más relevantes: diagrama de flujo de proceso, nombre y descripción de los equipos, secuencia de operaciones, formatos de registros y normativa de seguridad.

El objetivo de este material es garantizar el óptimo funcionamiento de la planta de tratamiento obteniendo agua de alta calidad. También pretende servir como mecanismo de supervisión de los operarios de la sección, al emplearse como material de entrenamiento.

Los documentos aquí mostrados, planos, figuras, procedimientos e instrucciones son flexibles a cualquier actualización para ajustarse de manera objetiva a cualquier soporte de calidad según lo especificado por las normas de documentación de la empresa. El Manual de operaciones sigue las normas ISO 9000 para el aseguramiento de la calidad y el esquema propio de la empresa para la realización de manuales. Cada una de las secciones que conforman el manual presenta la estructura que se describe a continuación:

a. Encabezado de página: contiene la identificación del documento; ver Figura N° 37. En el extremo izquierdo del encabezado está el logo de la empresa, en el centro se presenta el título del documento: diagrama de flujo de proceso, manual de operaciones de los suavizadores, manual de operación de los filtros de grava, generalidades, etc.

 C.A. TELARES DE PALO GRANDE	TÍTULO	REVISIÓN:
	MANUAL DE OPERACIONES DE LOS FILTROS DE GRAVA	CÓDIGO: ASC-001
		PAG: 124 DE: 216

Figura N° 37. Encabezado de las páginas del manual de operaciones

En la parte derecha del encabezado se encuentra el código de la sección, el primer dígito consta de un carácter alfabético cuyo rango corresponde al tipo de documento: A generalidades, D descripción del proceso, F formatos, M métodos de ensayo, P

procedimientos específicos y X para anexos. Las siguientes dos caracteres alfabéticos corresponden al nombre del área o departamento de la empresa donde está ubicado el documento: SC sección de calderas. El último elemento del código es de tipo numérico y representa un consecutivo de la identificación según el número de manuales de la sección y su rango va desde 001 hasta 999.

En el extremo inferior derecho se tiene el número de la página consultada y el total de páginas del manual.

b. Objetivo: define de forma explícita el propósito que se pretende alcanzar con el establecimiento de una norma, procedimiento, método o ensayo.

c. Alcance: establece los límites de aplicación del documento dentro de una determinada área, maquinaria o persona.

d. Responsable: indica el cargo de la persona que asumirá el rol de hacer cumplir la (s) normativa (s) establecida en el documento.

e. Referencia normativa: especifica el material de donde se consulta o extrae la información que complementa el documento.

f. Definiciones: presenta los conceptos y abreviaturas mostradas en el desarrollo del documento, para así evitar diferentes interpretaciones de un mismo término.

g. Principio de ensayo: define las bases teóricas que sustentan el documento.

h. Reactivos y materiales: cada una de las sustancias requeridas para el desarrollo del procedimiento.

i. Instrumentos y/o equipos: enumera cada uno de los arreglos mecánicos que sirven para apoyar los procedimientos realizados y así obtener los resultados.

j. Procedimiento: indica paso a paso la secuencia de actividades que se deben realizar para cumplir con un objetivo propuesto.

k. Formato: en esta sección se hace referencia al título o código de formato que debe ser empleado para reportar los datos experimentales generados luego de cumplir cierto procedimiento.

l. Anexos: es la ilustración en forma representativa de las figuras, tablas, equipos, piezas, accesorios, etc.

Las secciones que conforman el manual son:

- **Generalidades:** donde se explica la estructura del manual, su objetivo y alcance, el sistema de codificación e información introductoria acerca de la empresa.
- **Descripción y Diagrama de Flujo de Proceso:** esta sección pretende generar una visión general del proceso empleado para generar el agua industrial que satisfaga el proceso productivo.
- **Manual de Operaciones de los Filtros:** aquí se exponen conceptos básicos que permiten al operador adquirir conocimientos importantes acerca de filtros, así como el procedimiento paso a paso que debe ser seguido para lograr el óptimo funcionamiento del equipo.
- **Manual de Operaciones de los Suavizadores:** en esta sección se exponen conceptos básicos que permiten al operador adquirir conocimientos importantes

acerca de los ablandadores de agua, así como el procedimiento paso a paso que debe ser seguido para lograr el óptimo funcionamiento del equipo.

- **Manual de Análisis Químico:** la sección tiene un rango de aplicabilidad sólo para los análisis químicos de las aguas involucradas en el proceso productivo de la empresa C.A. Telares de Palo Grande controlando parámetros específicos de acuerdo a los requerimientos encontrados en la planta con la capacidad de detectar desviaciones con respecto a la conducta esperada brindando acción, bien sea preventiva o correctiva.
- **Manual de Seguridad:** el documento tiene un rango de aplicabilidad sólo para la “Sala de Calderas y preparación del agua industrial” y en general pretende mostrar las principales normas de seguridad dentro de la sección, haciendo efectivo el proceso de prevención de accidentes.
- **Formatos:** esta sección permite implantar el medio de registro de las principales variables a controlar dentro de la planta de tratamiento, entre las cuales se pueden mencionar: Rutinas, Control de Retrolavado de Filtros, Control de Regeneración de los Suavizadores, Lecturas y Consumos de Agua, Análisis de Aguas, entre otros.
- **Anexos:** como ayuda visual para la descripción de los procedimientos se muestran y/o anexan diagramas, dibujos y fotos en la sección.

3. Análisis económico de las propuestas realizadas

La premisa del análisis económico se basa en la necesidad de reestructurar la actual planta de tratamiento para garantizar la dureza del agua y con esto favorecer al proceso textil, con la disminución de la producción de segunda, de cargas reprocesadas o con el ahorro de químicos auxiliares. Para ello se utilizó el método de

Valor Presente de la Inversión Total, con el objetivo de comparar las alternativas mutuamente excluyentes mencionadas en las propuestas de reformas al sistema de suavización.

El análisis económico se basa en las ganancias que se dejan de percibir producto de la situación actual dentro de la planta de tratamiento de aguas, donde como ya se dijo no es posible producir de manera constante y controlada un agua con la calidad requerida y por lo cual se hace necesario la adquisición de equipos nuevos, la instalación de un laboratorio de aguas y la creación de un manual de operación.

Dada la complejidad de manejar y/o mostrar datos económicos como ventas o costos de producción de la empresa, se establecerá el análisis económico desde el punto de vista de las ganancias que se podrían percibir con un sistema de tratamiento más eficiente y controlado.

De esta forma se está comparando el sistema actual (opción no hacer nada) contra el sistema reformado y no existe por ejemplo, la necesidad de calcular: **(a)** el costo de producción de agua industrial del sistema actual y el costo de producción de agua con el sistema nuevo, si se conoce que la diferencia entre ambos esta dada por el consumo de regenerante cuyo valor sí se puede estimar y **(b)** los costos de producción de las toallas sin reformulación de químicos o con la reformulación si se sabe cual es el ahorro anual que genera la nueva fórmula. Las ganancias generadas se puede englobar en:

- a. *Ganancias por producción de segunda*: la dureza del agua requerida disminuye un porcentaje de las unidades defectuosas, contabilizándose una diferencia económica al ser vendidas como de primera calidad. Como ha quedado demostrado la influencia de la dureza del agua en la calidad del producto terminado, parte de esa producción de segunda puede ser atribuida a la planta de tratamiento de agua industrial.

Dentro de las estadísticas de producción de segunda que se manejan en la empresa el 29,3 % de las unidades defectuosas son generadas en planta de acabado (unas 51.428 unidades al año). De estas, un 40 % (20.366 unidades) se encuentran en la categoría fuera de estándar por color, se sabe que la dureza del agua puede ocasionar un producto en esta categoría, sin embargo no todas las unidades defectuosas son producto de una inadecuada calidad en el agua, como ya se mencionó existen otros factores como maquinaria, operarios o insumos. Es por ello que siguiendo recomendaciones de la empresa se adjudicó a la dureza del agua un 30 % de estas unidades (6.110 unidades) siendo conservadores ante la posible recuperación de la inversión.

- b.** *Los costos asociados al reproceso de cargas debido a la influencia de la calidad del agua:* dichos costos podrían reducirse de procesar el producto con un agua de dureza adecuada. Según el estudio realizado la dureza del agua no sólo afecta el color del textil sino otros parámetros como solidez, grado de blanco, contenido de dureza en la tela, pH de la tela, resistencia a la tensión, etc., el sistema actual de estadísticas y control de defectos no se lleva a cabo de manera detallada y estos defectos no son actualmente registrados dentro de la empresa resultando imposible contabilizar estas unidades defectuosas.

Los problemas como baja solidez, pH de la tela y grado de blanco por mencionar algunos son corregidos mediante el reproceso de la carga, sin embargo dicho reproceso no es contabilizado por defecto, sólo se tiene un aproximado del costo del reproceso de las unidades sin diferenciar su origen. Por ello se adjudicó a la dureza del agua sólo un 30 % del costo generado por el reproceso de las cargas.

- c.** *Debido a la baja eficiencia del actual sistema de suavización:* se requiere un consumo anual de regenerante superior al estimado para los sistemas diseñados: 110.100 Kg de sal contra 48.400 Kg y 48.108 Kg para el diseño de dos y tres unidades respectivamente. De existir estas unidades eficientes instaladas se

incurriría en un ahorro sustancial producto de los diferentes consumos de sal que permitirá de algún modo recuperar la inversión inicial en equipos.

El estudio realizado arrojó la posibilidad de disminuir al 50 %, el auxiliar secuestrante adicionado en el proceso de blanqueo, sin embargo esta ganancia no se incluye como forma de recuperar de la inversión en los equipos ya que producir un agua de calidad adecuada no genera directamente este ahorro y es sólo decisión de la empresa cambiar la fórmula de blanqueo. Producir un agua de calidad adecuada puede directamente reducir la producción de segunda, el reproceso y la cantidad de regenerante, ya que todos son consecuencias del cambio realizado dentro de la planta de tratamiento, por el contrario un agua de calidad adecuada no genera una disminución en el producto secuestrante.

La ganancia por reformulación, sí se añade a la obtenida cuando se invierte en la reestructuración del actual sistema de suavización, en aras de establecer cual es la ganancia general que aporta este proyecto a Telares de Palo Grande. La Tabla N° 42 resume todos los ahorros antes mencionados (los cálculos para el diseño del intercambiador iónico se encuentran en el Apéndice D).

Tabla N° 42. Ahorros generados por el sistema de tratamiento de agua industrial

Ganancias		Bs./año
Por producción de segunda		7.148.700
Por reproceso de cargas		9.900.000
Por consumo de regenerante	Tren de 2 unidades.	18.510.000
	Tren de 3 unidades	18.597.600
Por reformulación del blanqueo		60.191.629

La inversión total en la planta de tratamiento de agua industrial contempla el costo de los equipos suavizadores, que fueron cotizados según los diseños presentados en las propuestas (las cotizaciones se encuentran en el apéndice C), la mano de obra para la instalación y el laboratorio de aguas. La Tabla N° 43 muestra los datos de inversión inicial para las propuestas de un tren de suavizadores de 2 unidades y 3 unidades.

Tabla N° 43. Inversión inicial estimada para las propuestas de reformas

Tipo de sistema	Inversión inicial	Bs.
Tren de 2 suavizadores	Suavizadores (Manual)	66.041.066
	Mano de obra	4.560.000
	Laboratorio de aguas	2.350.407
	Total	72.951.437
Tren de 3 suavizadores	Suavizadores (Automatizado)	146.376.000
	Mano de obra	6.840.000
	Laboratorio de aguas	2.350.407
	Total	155.566.407

La diferencia entre los suavizadores cotizados, no sólo responde al número de equipos, sino también a los materiales de construcción y a la modalidad de operación. El tren de dos unidades opera de forma manual y los equipos son de acero al carbono mientras que el tren de tres unidades opera de forma automática y son de plástico reforzado con fibra de vidrio.

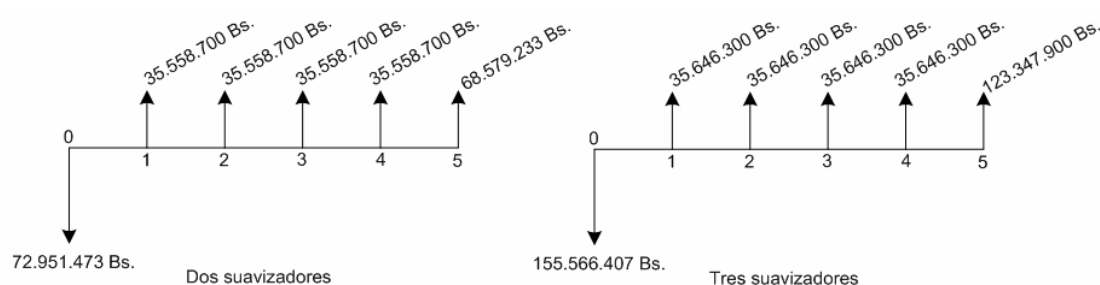


Figura N° 38. Flujo de caja para las propuestas de reemplazo del tren de suavizadores

La similitud en los flujos positivos mostrados en la Figura N° 38 de ambas opciones sugiere que la selección del sistema más idóneo se fundamente en los costos de inversión, seleccionando lógicamente el menor, sin embargo al calcular el valor presente de cada propuesta se concreta la selección, la Tabla N° 44 muestra los resultados y los cálculos del valor presente de la inversión total se encuentran en el Apéndice D.

Tabla N° 44. Valor presente de las inversiones en la reforma del sistema de suavización

Sistema	Recuperación de la inversión (año)	Valor Presente (Bs.)
Tren de 2 unidades	3	81.779.930
Tren de 3 unidades	5	33.325.231

Para determinar el valor presente de las propuestas de reformas se tomo en cuenta: **(a)** La Trema utilizada por recomendación de la empresa será la tasa pasiva (10,13%) del Banco Central de Venezuela para mayo de 2006, **(b)** el número de periodos de capitalización es de 5 años y **(c)** el valor de salvamento al final del periodo es de 50 % de la inversión realizada para el sistema de 2 unidades y de 60 % de la inversión inicial para el sistema de 3 unidades. La razón de este último punto se debe al material del cual se encuentran contruidos dichos suavizadores; para el sistema de dos unidades de acero al carbono (recubiertos interiormente con una capa epóxica) es lógico pensar que al finalizar el periodo de capitalización presente problemas de oxidación debido al constante contacto con la sal regenerante.

Finalmente se tiene que aunque ambas alternativas son totalmente viables por tener un $VP > 0$, la propuesta del tren de 2 suavizadores presenta un valor presente de la inversión 2,5 veces mayor al sistema de 3 suavizadores recuperándose el costo inicial en sólo tres años.

La ganancia total del proyecto para el periodo de capitalización de 5 años que representa la suma del valor presente de la inversión en el tren de 2 suavizadores y el valor presente de las ganancias generadas como producto de la disminución del contenido de secuestrante en la fórmula del proceso de blanqueo.

$$VP_{Total} = VP_{Inversión} + VP_{Reformulación} = 81.779.930 \text{ Bs.} + 227.430.606 \text{ Bs.}$$

$$VP_{Total} = 309.210.536 \text{ Bs.}$$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Los parámetros distintos a la dureza (pH, alcalinidad, turbiedad, Fe y Mn) se encuentran dentro de los rangos establecidos en la bibliografía como aceptables y/o adecuados para la industria textil.
- La dureza en el agua influye en el proceso de acabado textil, por lo tanto no se puede utilizar un agua sin tratamiento previo.
- Los valores de dureza que favorecen a las etapas de acabado textil son:

Descrude de hilos: 0, 40, 80 y 120 mg/l

Teñido de hilos: 0 y 40 mg/l

Blanqueo de tejidos: 40 y 80 mg/l

Blanco-blanco: 0, 40 y 80 mg/l

Teñido semi-continuo: 40 mg/l

Teñido continuo: 0 y 40 mg/l

Teñido por agotamiento: no hay influencia

En consecuencia, el valor de dureza a producir en la planta de tratamiento de agua industrial que cumple con todos los parámetros de control de calidad dentro de los procesos de acabado evaluados corresponde a 40mg/l.

- Como producto de una calidad constante en el agua de proceso (con una dureza de 40 mg/l), es posible reducir al 50% el secuestrante adicionado a la fórmula del proceso de blanqueo.

- El ahorro generado por la disminución de secuestrante en la fórmula de blanqueo es de: 60.191.629 Bs./año.
- Los equipos suavizadores actuales se encuentran mal diseñados por no cumplir con la relación altura-diámetro y el espaciado libre. Las resinas dentro de los equipos tienen capacidades de intercambio iónico muy por debajo de los valores reportados por el fabricante, por lo cual se hace necesario el reemplazo inmediato del sistema.
- Las dos propuestas de reemplazo del sistema de suavización estudiadas, son viables.
- La alternativa de un tren de 2 suavizadores presenta un mayor valor presente de la inversión, recuperando el costo inicial al final del 3^{er} periodo.
- La ganancia total para el periodo estudiado que supone el proyecto (5 años), es de 309.060.943 Bs. (valor presente) por concepto de la inversión realizada en el sistema de suavización y la reformulación del blanqueo.
- El seguimiento del manual de operación, permite asegurar la obtención del agua de proceso bajo el nivel de calidad adecuada para el acabado textil.
- El desarrollo metodológico del presente trabajo, se ajusta a la evaluación de la eficiencia de los procesos de acabado de cualquier industria textil.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

- Hacer efectiva las propuestas de reemplazo del sistema de suavización actual.
- Implementar y supervisar el uso del manual de operación.
- Mantener actualizado el Manual de Operaciones de la Sección de Caldera y Tratamiento de Agua Industrial para ajustarse de manera objetiva a cualquier soporte de calidad según lo especificado por las normas de documentación de la empresa.
- Establecer mejoras en el sistema estadísticas de producción de segunda y control de defectos para identificar las causas de los reprocesos y de la disminución de la calidad de un producto.
- Profundizar en el estudio de la influencia del agua en el proceso de teñido por agotamiento en tonos desarrollados (mezcla de colores).
- Mantener en buen estado el equipo vaporizador construido, para que pueda ser usado en las pruebas a escala de laboratorio realizadas para los proceso de blanqueo y blanco-blanco.
- Evaluar la posibilidad de automatizar el sistema de operación de los filtros de grava.
- Establecer periodos de inspección dentro de los equipos suavizadores para garantizar los niveles y la calidad de la resina.

- Realizar registros históricos de fallas en la planta de tratamiento de agua industrial de manera de retroalimentar a los operadores y personal técnico sobre posibles acciones correctivas antes problemas existentes.
- Estudiar la posibilidad de reformular otros procesos de acabado sin afectar la calidad del producto empleando auxiliares químicos que cumplan funciones definidas.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- ACERCAR. Unidad de Asistencia Técnica Ambiental para la Pequeña y Mediana Empresa. (2000) “Industrias Textiles”. Disponible en: <http://www.acercar.org.co>. [Consulta. 2005, septiembre].
- American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC) (1992). “Manual técnico de la asociación americana de químicos textiles y coloristas. Test Method 8.
- American Society for Testing Materials .ASTM. (1976) “Manual de agua para usos industriales”
- American Water Works Association (AWWA). (1989) “Control de calidad y tratamiento de agua” Editorial: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana.
- American Water Works Association (AWWA). (2002) “Calidad y tratamiento de agua. Manual de suministros de agua comunitaria.” 4ta ed. Editorial: Mc Graw Hill.
- BASF. Badische Anilin & Soda-Fabrik AG. (1967) “Métodos de control en tratamiento previo”
- BASF. Badische Anilin & Soda-Fabrik AG. (1988) “Colorantes Indanthrene” Tomo I.

- Badische Anilin & Soda-Fabrik AG (BASF). (1995) “Complementos técnicos para la tintura” Tomo I.
- C.A Telares de Palo Grande (TPG). (2003) “Manual de métodos y ensayos: MME”.
- C.A Telares de Palo Grande (TPG). (2003) “Manual de calidad: MC”.
- Cegarra, José, Puente, Publio y Valdeperas, José. (1984) “Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materiales textiles” España. ETSII Universidad Politécnica de Barcelona.
- Charlton, Simmon. (2005) “Secuestrante.” Alleed Bristish Chemicals (ABC).
- CIBA-GEIGY. (1994) “Cibacron C” 3350-S; 3480.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. “Solidez de los colores de los materiales textiles. Determinación de la solidez al frotamiento con solventes orgánicos” Ministerio de Fomento. COVENIN 196-1980.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. “Solidez de los colores de los materiales textiles. Determinación de la solidez al lavado doméstico y comercial” Ministerio de Fomento. COVENIN 759-1978.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. “Solidez de los colores de los materiales textiles. Determinación de la solidez al blanqueo con peróxido. COVENIN 856-1976.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales. “Solidez de los colores de los materiales textiles. Escala de grises para valorar transferencias de color” Ministerio de Fomento. COVENIN 808-1975.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. “Telas. Determinación de la resistencia a la ruptura por tensión” Ministerio de Fomento COVENIN 517-1984.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. “Manual típico de aseguramiento de la calidad” Ministerio de Fomento COVENIN-ISO 9001-1995.
- Instituto Tecnológico Textil. AITEX. (2002) “Optimización de los niveles de contaminación del agua procedente de los procesos textiles.” Disponible en: <http://www.aitex.es>. [Consulta. 2005, noviembre].
- Ivester Lee y Neefus John D. (2001) “Industria de productos textiles” Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo. Cap 89. 3ra Ed España. OIT.
- Kemmer, Frank y Mc Cadillon, Jhon. (1995) “Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones” Tomo III. Editorial: Mc Graw Hill.
- Kirk - Othmer. (1998) “Enciclopedia de tecnología química” Limusa. Noriega editores.
- Lipesa (1988) “Tratamiento Químico del agua.” Caracas. Editorial Impregraf.
- Nalco. (1986) “Charla técnica sobre el tratamiento de aguas para generador de vapor. Trabajo no publicado.

- Nordel, Eskel. (1975) “Tratamiento de agua para la industria y otros usos” 4ta ed. Compañía editorial continental.
- PDVSA. (1991) “Manual de ingeniería de diseño. Preparación de diagramas de proceso” Vol. 15.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998) 20th Edition. AWWA / APHA / WEF.
- Tomasino, Charles. (1992) “Chemistry & Technology of Fabric Preparation & Finishing” North Carolina. College of Textiles North Carolina State University Raleigh.
- Westland Stephen (2001) “Tecnologías del color” Disponible en: <http://www.gusgsm.com/faqcolor/cielab.html>: [Consulta. 2006, Abril].

CAPÍTULO VIII

APÉNDICE

Apéndice A. Caracterización de las fuentes de aguas

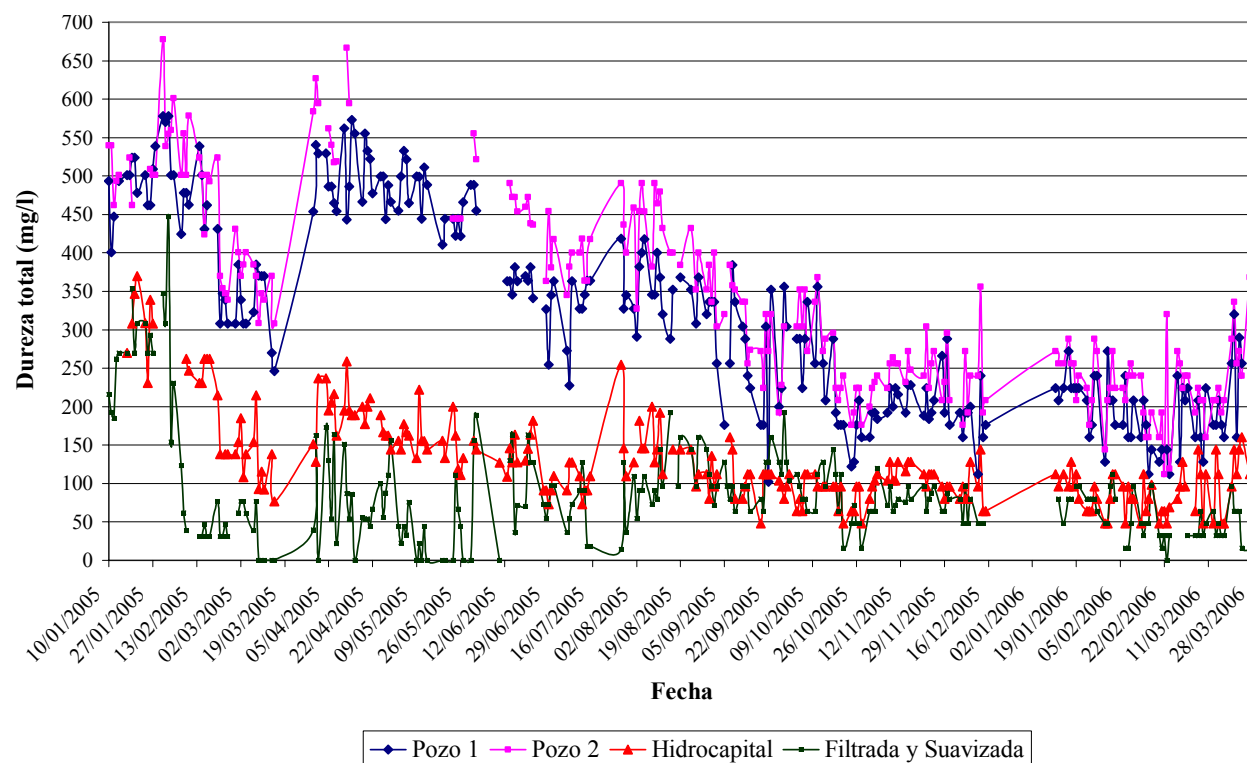


Figura N° 39. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006. (Fuente: T.P.G., 2005)

Tabla N° 45. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006

Fecha	Fuente	Dureza total (mg/l)			Filtrada y Suavizada
		Pozo 1	Pozo 2	Hidrocapital	
10/01/2005		494	540	----	216
11/01/2005		401	540	----	193
12/01/2005		447	462	----	185
13/01/2005		----	494	----	262
14/01/2005		494	501	----	270
17/01/2005		501	----	270	270
18/01/2005		501	524	----	----
19/01/2005		524	462	308	354
20/01/2005		524	----	347	270
21/01/2005		478	----	370	308
24/01/2005		501	----	309	309
25/01/2005		462	----	231	270
26/01/2005		462	509	339	293
27/01/2005		509	501	308	270
28/01/2005		539	501	----	----
31/01/2005		578	678	----	347
01/02/2005		570	539	----	308
02/02/2005		578	555	----	447
03/02/2005		501	560	----	154
04/02/2005		501	601	----	231
07/02/2005		425	501	----	123
08/02/2005		478	556	----	62
09/02/2005		478	501	262	39
10/02/2005		463	578	247	----
14/02/2005		539	524	231	31
15/02/2005		501	501	231	31
16/02/2005		431	424	262	46
17/02/2005		462	501	262	31
18/02/2005			493	262	31
21/02/2005		431	524	215	77
22/02/2005		308	370	138	31
23/02/2005		347	354	----	31
24/02/2005		339	347	138	46
25/02/2005		308	339	138	31
28/02/2005		308	431	138	----
01/03/2005		385	401	154	62
02/03/2005		339	370	185	77
03/03/2005		308	385	108	77
04/03/2005		308	401	138	61
07/03/2005		323	385	154	39
08/03/2005		385	370	215	77

Tabla N° 45. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006. Cont.

Fecha \ Fuente	Dureza total (mg/l)			
	Pozo 1	Pozo 2	Hidrocapital	Filtrada y Suavizada
09/03/2005	370	309	93	0
10/03/2005	370	347	116	0
11/03/2005	370	339	92	0
14/03/2005	270	370	138	0
15/03/2005	246	308	77	0
30/03/2005	454	584	151	40
31/03/2005	541	627	128	162
01/04/2005	530	595	237	0
04/04/2005	530	----	237	173
05/04/2005	486	562	195	130
06/04/2005	486	541	205	54
07/04/2005	465	518	216	164
08/04/2005	454	519	162	22
11/04/2005	562	----	195	151
12/04/2005	443	667	259	87
13/04/2005	486	595	195	54
14/04/2005	573	----	189	86
15/04/2005	556	----	189	0
18/04/2005	467	----	200	56
19/04/2005	556	----	177	54
20/04/2005	533	----	200	54
21/04/2005	522	----	211	44
22/04/2005	477	----	----	67
25/04/2005	500	----	189	100
26/04/2005	500	----	167	56
27/04/2005	444	----	162	88
28/04/2005	488	----	162	111
29/04/2005	467	----	144	156
02/05/2005	455	----	156	44
03/05/2005	500	----	144	23
04/05/2005	533	----	177	44
05/05/2005	522	----	167	33
06/05/2005	465	----	162	76
09/05/2005	500	----	133	0
10/05/2005	499	----	222	22
11/05/2005	444	----	156	0
12/05/2005	511	----	155	44
13/05/2005	488	----	144	0
19/05/2005	411	----	156	0
20/05/2005	444	----	133	0
23/05/2005	444	444	200	0

Tabla N° 45. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006. Cont.

Fecha	Fuente	Dureza total (mg/l)			Filtrada y Suavizada
		Pozo 1	Pozo 2	Hidrocapital	
24/05/2005		422	444	162	111
25/05/2005		444	444	119	67
26/05/2005		422	444	111	44
27/05/2005		466	----	133	0
30/05/2005		489	----	----	0
31/05/2005		489	556	156	156
01/06/2005		455	522	144	189
10/06/2005		----	----	127	0
13/06/2005		363	----	109	----
14/06/2005		363	491	146	130
15/06/2005		346	473	127	164
16/06/2005		381	473	164	36
17/06/2005		363	454	127	72
20/06/2005		370	460	130	70
21/06/2005		364	473	145	164
22/06/2005		381	438	164	127
23/06/2005		341	436	182	127
27/06/2005		----	----	91	73
28/06/2005		327	363	91	55
29/06/2005		255	455	73	73
30/06/2005		345	381	91	97
01/07/2005		363	418	110	97
06/07/2005		273	345	91	36
07/07/2005		228	382	127	55
08/07/2005		363	400	127	73
11/07/2005		327	400	109	91
12/07/2005		327	418	73	127
13/07/2005		346	364	91	91
14/07/2005		364	364	91	18
15/07/2005		364	418	109	18
27/07/2005		418	491	255	15
28/07/2005		328	436	146	127
29/07/2005		345	400	109	36
01/08/2005		327	459	127	109
02/08/2005		291	327	----	55
03/08/2005		382	455	182	91
04/08/2005		400	491	146	91
05/08/2005		418	454	146	109
08/08/2005		346	382	200	73
09/08/2005		346	491	127	91
10/08/2005		400	464	144	80

Tabla N° 45. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006. Cont.

Fuente Fecha	Dureza total (mg/l)			
	Pozo 1	Pozo 2	Hidrocapital	Filtrada y Suavizada
11/08/2005	368	480	192	144
12/08/2005	320	432	112	96
16/08/2005	352	400	144	----
18/08/2005	----	----	----	96
19/08/2005	368	384	144	160
23/08/2005	352	432	144	144
25/08/2005	308	352	96	96
26/08/2005	368	400	112	160
29/08/2005	320	352	112	144
30/08/2005	336	384	80	112
31/08/2005	336	336	136	96
01/09/2005	336	400	96	72
02/09/2005	256	304	112	96
05/09/2005	176	320	----	128
06/09/2005	----	----	----	96
07/09/2005	256	384	160	80
08/09/2005	384	358	144	96
09/09/2005	336	352	80	64
12/09/2005	304	336	80	96
13/09/2005	288	336	96	96
14/09/2005	240	256	112	96
15/09/2005	224	274	112	64
19/09/2005	176	272	48	80
20/09/2005	176	224	112	64
21/09/2005	304	320	112	128
22/09/2005	102	272	112	128
23/09/2005	352	320	112	160
26/09/2005	200	192	104	128
27/09/2005	224	228	96	112
28/09/2005	356	304	80	192
29/09/2005	304	----	96	128
30/09/2005	----	----	112	104
03/10/2005	288	304	64	112
04/10/2005	288	352	80	96
05/10/2005	224	304	64	80
06/10/2005	288	352	112	80
07/10/2005	336	272	112	64
10/10/2005	256	336	112	64
11/10/2005	356	368	96	112
13/10/2005	256	272	96	128
14/10/2005	208	288	96	96

Tabla N° 45. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006. Cont.

Fuente Fecha	Dureza total (mg/l)			
	Pozo 1	Pozo 2	Hidrocapital	Filtrada y Suavizada
17/10/2005	288	296	96	144
18/10/2005	192	224	96	112
19/10/2005	176	208	64	64
20/10/2005	176	224	96	112
21/10/2005	176	240	48	16
24/10/2005	122	176	64	48
25/10/2005	128	192	64	72
26/10/2005	176	224	96	48
27/10/2005	208	224	96	48
28/10/2005	160	176	48	16
31/10/2005	160	200	80	64
01/11/2005	192	224	96	64
02/11/2005	192	232	104	64
03/11/2005	184	240	112	120
07/11/2005	192	224	104	72
08/11/2005	224	256	128	96
09/11/2005	200	264	104	64
10/11/2005	224	256	104	72
11/11/2005	216	256	128	80
14/11/2005	192	232	116	76
15/11/2005	228	272	128	96
16/11/2005	228	248	128	80
21/11/2005	188	240	112	96
22/11/2005	224	304	96	64
23/11/2005	184	224	112	80
24/11/2005	192	256	112	88
25/11/2005	208	272	112	96
28/11/2005	266	208	96	64
29/11/2005	192	232	80	64
30/11/2005	288	296	96	88
01/12/2005	176	208	96	80
05/12/2005	192	----	80	80
06/12/2005	160	176	96	48
07/12/2005	192	272	80	96
08/12/2005	192	192	80	48
09/12/2005	200	240	128	80
12/12/2005	112	240	96	48
13/12/2005	240	356	144	----
14/12/2005	160	192	64	48
15/12/2005	176	208	64	----
11/01/2006	224	272	112	----

Tabla N° 45. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006. Cont.

Fuente Fecha	Dureza total (mg/l)			
	Pozo 1	Pozo 2	Hidrocapital	Filtrada y Suavizada
12/01/2006	208	256	96	80
14/01/2006	224	256	112	48
16/01/2006	272	288	96	80
17/01/2006	224	256	128	80
18/01/2006	224	256	96	----
19/01/2006	224	208	112	96
20/01/2006	224	240	80	96
23/01/2006	208	224	64	80
24/01/2006	160	176	64	80
25/01/2006	176	208	64	80
26/01/2006	240	288	96	80
27/01/2006	240	272	80	64
30/01/2006	128	144	48	48
31/01/2006	272	208	48	48
01/02/2006	208	224	80	96
02/02/2006	208	272	112	112
03/02/2006	176	224	112	80
06/02/2006	176	224	96	----
07/02/2006	240	208	48	16
08/02/2006	160	240	96	16
09/02/2006	160	256	80	48
10/02/2006	208	240	80	96
13/02/2006	160	240	48	48
14/02/2006	208	192	112	32
15/02/2006	176	160	64	48
16/02/2006	112	160	80	48
17/02/2006	144	192	98	98
20/02/2006	128	160	48	32
21/02/2006	144	192	64	16
22/02/2006	----	112	64	32
23/02/2006	144	320	48	0
24/02/2006	112	119,2	69	32
27/02/2006	240	272	80	----
28/02/2006	128	256	96	----
01/03/2006	224	224	128	----
02/03/2006	208	240	96	----
03/03/2006	224	240	----	32
06/03/2006	160	192	64	32
07/03/2006	208	224	144	32
08/03/2006	160	208	112	64
09/03/2006	128	208	48	32

Tabla N° 45. Variación de la dureza total. Enero 2005-Marzo 2006. Cont.

Fuente Fecha	Dureza total (mg/l)			
	Pozo 1	Pozo 2	Hidrocapital	Filtrada y Suavizada
10/03/2006	224	160	112	48
13/03/2006	176	208	48	64
14/03/2006	176	208	144	32
15/03/2006	208	224	112	48
16/03/2006	176	192	48	32
17/03/2006	160	208	48	32
20/03/2006	256	288	96	96
21/03/2006	320	336	144	64
22/03/2006	160	256	112	64
23/03/2006	290	272	144	64
24/03/2006	256	240	160	16
27/03/2006	----	368	112	16
28/03/2006	----	352	112	48
29/03/2006	----	----	112	48
Promedio	321	341	129	87
Desv. Est.	128	123	59	70

Fuente: T.P.G., 2005

Tabla N° 46. Variación de la dureza total durante el periodo de muestreo

Fuente Fecha	Dureza total (mg/l)				
	Pozo1	Pozo2	Hidrocapital	Alimentación a Planta	Filtrada y Suavizada
24/10/2005	176	208	112	104	80
25/10/2005	208	224	80	68	48
26/10/2005	176	224	96	64	48
27/10/2005	208	224	96	96	48
28/10/2005	192	208	80	96	48
31/10/2005	160	200	80	88	64
01/11/2005	192	224	96	96	64
02/11/2005	192	232	104	136	120
03/11/2005	184	240	112	136	72
07/11/2005	192	224	104	128	72
08/11/2005	192	224	104	112	64
09/11/2005	200	264	104	136	72
10/11/2005	224	256	104	128	80
11/11/2005	216	256	128	128	76
14/11/2005	192	232	116	128	80
16/11/2005	228	248	128	152	80
17/11/2005	224	280	128	160	80
18/11/2005	224	272	112	140	80
21/11/2005	188	240	112	144	96
23/11/2005	184	224	112	144	80
24/11/2005	192	256	112	122	88
25/11/2005	208	272	112	160	96
Promedio	198	238	106	121	74
Desv. Est.	18	22	14	27	18

Tabla N° 47. Variación de la alcalinidad total durante el periodo de muestreo

Fuente Fecha	Alcalinidad (mg/l)				
	Pozo1	Pozo2	Hidrocapital	Alimentación a Planta	Filtrada y Suavizada
26/10/2005	172	220	96	118	120
27/10/2005	172	220	96	132	124
28/10/2005	174	220	96	124	120
31/10/2005	150	276	104	114	122
01/11/2005	174	224	92	140	116
02/11/2005	159	226	92	118	118
03/11/2005	176	218	96	120	106
07/11/2005	146	260	94	106	116
08/11/2005	172	218	96	124	122
09/11/2005	174	220	94	128	124
10/11/2005	172	222	94	124	118
11/11/2005	172	222	96	126	122
14/11/2005	116	242	84	104	108
16/11/2005	152	196	76	104	108
17/11/2005	159	226	92	118	118
18/11/2005	159	226	92	118	118
21/11/2005	122	252	88	88	108
23/11/2005	152	200	90	124	116
24/11/2005	152	196	84	112	110
25/11/2005	154	200	86	116	112
Promedio	159	226	92	118	118
Desv. Est.	17	22	6	11	8

Tabla N° 48. Variación del pH durante el periodo de muestreo

Fuente Fecha	Pozo1	Pozo2	Hidrocapital	Alimentación a Planta	Filtrada y Suavizada
24/10/2005	6,9	7,2	7,3	8,0	7,6
25/10/2005	6,8	7,1	7,2	8,2	7,6
26/10/2005	6,8	7,1	7,4	7,9	7,8
27/10/2005	6,9	7,1	7,2	8,4	7,6
28/10/2005	6,8	7,1	7,3	7,9	7,4
31/10/2005	6,7	7,2	7,0	7,6	7,5
01/11/2005	6,7	7,0	7,2	7,9	7,7
02/11/2005	6,8	7,1	7,3	7,9	7,6
03/11/2005	6,8	7,1	7,2	7,9	7,7
07/11/2005	6,9	7,2	7,2	7,7	7,8
08/11/2005	6,8	7,1	7,2	7,7	7,6
09/11/2005	6,8	7,1	7,3	7,6	7,4
10/11/2005	6,8	7,1	7,3	7,8	7,3
11/11/2005	6,7	7,0	7,3	8,0	7,5
14/11/2005	6,8	7,2	7,2	7,8	7,5
16/11/2005	6,9	7,0	7,5	7,4	7,7
17/11/2005	6,8	7,1	7,3	7,9	7,6
18/11/2005	6,8	7,1	7,3	7,9	7,6
21/11/2005	6,6	7,0	7,0	7,6	7,3
23/11/2005	6,8	7,1	7,3	7,9	7,4
24/11/2005	6,8	7,1	7,4	8,1	7,6
25/11/2005	6,8	7,1	7,5	8,0	7,7
Promedio	6,8	7,1	7,3	7,9	7,6
Desv. Est.	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1

Tabla N° 49. Variación del contenido de hierro durante el periodo de muestreo

Fuente Fecha	Contenido de hierro (mg/l)				
	Pozo1	Pozo2	Hidrocapital	Alimentación a Planta	Filtrada y Suavizada
25/05/2006	0,01 *	0,51	0,33	0,74	0,01 *
26/05/2006	0,01 *	0,54	0,05	0,46	0,01 *
29/05/2006	1,04	3,69	0,09	0,01 *	0,07
30/05/2006	0,30	0,52	0,05	0,05	0,05
31/05/2006	0,23	2,62	0,21	0,01 *	0,01 *
Promedio	0,32	1,58	0,15	0,25	0,03
Desv. Est.	0,42	1,49	0,12	0,33	0,03

(*) El resultado puede ser menor, pero el valor reportado corresponde a la mínima lectura del equipo

Tabla N° 50. Variación del contenido de manganeso durante el periodo de muestreo

Fuente Fecha	Contenido de manganeso (mg/l)				
	Pozo1	Pozo2	Hidrocapital	Alimentación a Planta	Filtrada y Suavizada
25/05/2006	0,01*	0,06	0,18	0,12	0,01 *
26/05/2006	0,01 *	0,06	0,01 *	0,01 *	0,01 *
29/05/2006	0,16	0,05	0,01 *	0,01 *	0,01 *
30/05/2006	0,08	0,01 *	0,01 *	0,01 *	0,01 *
31/05/2006	0,08	0,07	0,12	0,01 *	0,01 *
Promedio	0,07	0,05	0,07	0,03	0,01 *
Desv. Est.	0,06	0,02	0,08	0,05	0,00

(*) El resultado puede ser menor, pero el valor reportado corresponde a la mínima lectura del equipo

Apéndice B. Muestreo y operación a escala de laboratorio

Tabla N° 51. Producción fuera de estándar por color. Año 2005

Color	Unidades defectuosas
Acqua	753
Adobe	2.718
Alhambra	2.649
Ambar	14
Arandano	25
Arena	100
Baltico	1.124
Cantones	21
Cayena	101
Champang	2.214
Cordoban	738
Laurel	3.620
Mandarina	23
Marino	2.046
Niagara	124
Nieve	645
Paprika	94
Petunia	553
Pistacho	1.139
Spa	719
Tramonto	392
Vainilla	134
Zafiro	375
Otras	45
Total	20.366

Fuente: T.P.G., 2005

Tabla N° 52. Caracterización del hilo crudo

Prueba	Dureza(mg/l)
1	96
2	100
3	96
Promedio	97
Desv. Est.	2,3

Tabla N° 53. Pruebas de control de calidad para el proceso de descrude de hilos

Dureza (mg/l)	Procesos	Dureza residual en los hilos (mg/l)	pH
0	1	8	8,4
	2	8	9,0
	3	8	8,4
	Promedio	8	8,6
	Desv. Est.	0	0,3
40	1	8	8,8
	2	8	9,3
	3	12	8,6
	Promedio	9	8,9
	Desv. Est.	2	0,4
80	1	20	8,2
	2	20	8,9
	3	20	8,7
	Promedio	20	8,6
	Desv. Est.	0	0,4
120	1	28	9,1
	2	28	9,2
	3	32	8,2
	Promedio	29	8,8
	Desv. Est.	2	0,6
240	1	68	8,3
	2	64	8,7
	3	48	8,5
	Promedio	60	8,5
	Desv. Est.	11	0,2

Tabla N° 54. Valoración de la solidez al blanqueo de los hilos teñidos

Dureza (mg/l)	Prueba	Escala de grises *	
		Degradación	Transferencia
0	1	3-4	5
	2	3-4	5
	3	3	5
	Promedio	3-4	5
40	1	3	5
	2	4	5
	3	3	5
	Promedio	3-4	5
80	1	3	5
	2	3	5
	3	3-4	5
	Promedio	3	5
120	1	3	5
	2	3	5
	3	3	5
	Promedio	3	5
240	1	3	5
	2	2-3	5
	3	2-3	5
	Promedio	2-3	5

(*) 5 no hay transferencia o degradación, 1 máxima transferencia o degradación

Tabla N° 55. Parámetros del sistema CIELAB para el color cayena (hilos)

Dureza (mg/l)	Prueba	L*	a*	b*	c*	h
	Estándar	73,4	24,7	16,5	29,3	32,3
0	1	75,1	22,7	15,8	27,6	34,9
	2	73,1	24,2	18,8	30,6	37,8
	3	73,6	24,7	15,6	29,1	32,4
	Promedio	73,9	23,8	16,7	29,1	35,0
	Desv. Est.	1,0	1,0	1,8	1,5	2,7
40	1	73,1	24,8	17,2	31,1	37,2
	2	72,9	24,7	16,5	31,7	39,0
	3	72,9	23,3	17,4	29,0	36,8
	Promedio	72,9	24,2	17,0	30,6	37,7
	Desv. Est.	0,1	0,8	0,5	1,4	1,1
80	1	73,5	24,2	19,1	30,8	38,2
	2	74,6	24,0	18,9	31,3	40,1
	3	74,3	23,2	19,2	30,1	39,6
	Promedio	74,1	23,8	19,0	30,8	39,3
	Desv. Est.	0,6	0,5	0,2	0,6	1,0
120	1	73,3	24,0	20,1	31,3	39,9
	2	74,1	22,1	20,2	29,7	42,5
	3	74,6	22,3	19,8	29,0	41,5
	Promedio	74,0	22,8	20,0	30,0	41,3
	Desv. Est.	0,7	1,1	0,2	1,2	1,3
240	1	72,8	24,3	21,1	32,2	40,9
	2	74,2	22,0	19,6	29,4	41,8
	3	73,8	23,3	18,7	29,9	38,7
	Promedio	73,6	23,2	19,8	30,5	40,4
	Desv. Est.	0,7	1,2	1,2	1,5	1,6

Tabla N° 56. Caracterización del tejido crudo

Prueba	Resistencia a la tensión (lb)		Contenido de dureza en la tela (mg/l)	Hidrofilidad Tiempo (s)	Contenido de almidón
	Sentido				
	Urdimbre	Trama			
1	78,5	60,0	40	>6	1
2	71,0	57,5	40	>6	1
3	73,0	58,0	48	>6	1
Promedio	74,2	58,5	43	>6	1
Desv. Est.	3,9	1,3	4,6	0	0

Tabla N° 57. Pruebas del control de calidad para el proceso de blanqueo

Dureza (mg/l)	Prueba	Resistencia a la tensión (lb)		Contenido de dureza en la tela (mg/l)	pH de la tela	Hidrofilidad Tiempo (s)	Contenido de almidón
		Sentido					
		Urdimbre	Trama				
0	1	69,0	55,0	0	9,1	<1	5
	2	69,0	45,0	0	8,9	<1	4
	3	62,0	48,0	0	9,0	<1	5
	Promedio	66,7	49,3	0	9,0	<1	4,5
	Desv. Est.	4,0	5,1	0	0,1	0	0,6
40	1	62,0	52,5	0	7,8	<1	5
	2	68,5	54,0	0	8,6	<1	5
	3	66,5	53,0	0	7,4	<1	5
	Promedio	65,7	53,2	0	7,9	<1	5
	Desv. Est.	3,3	0,8	0	0,6	0	0
80	1	70,0	54,0	40	7,7	<1	5
	2	63,0	51,0	24	8,1	<1	5
	3	64,0	52,0	16	8,2	<1	5,5
	Promedio	65,7	52,3	27	8,0	<1	5
	Desv. Est.	3,8	1,5	12	0,3	0	0,3
120	1	70,0	49,0	56	6,9	<1	5,5
	2	57,0	52,0	80	7,7	<1	5,5
	3	68,0	50,0	48	7,8	<1	5,5
	Promedio	65,0	50,3	61	7,5	<1	5,5
	Desv. Est.	7,0	1,5	17	0,5	0	0
240	1	60,0	49,0	68	8,2	<1	4
	2	58,5	45,5	72	8,4	<1	3,5
	3	64,0	42,0	56	8,3	<1	4
	Promedio	60,8	45,5	65	8,3	<1	4,0
	Desv. Est.	2,8	3,5	8	0,1	0	0,3

Tabla N° 58. Disminución de la resistencia promedio de las muestras semi-blanqueadas respecto al tejido crudo

Dureza (mg/l)	% de disminución	
	Urdimbre	Trama
0	10	11
40	11	9
80	11	11
120	12	14
240	18	22

Tabla N° 59. Dureza total en el efluente del lavado

Dureza (mg/l)	Prueba	Dureza del efluente (mg/l)
0	1	0
	2	0
	3	0
	Promedio	0
	Desv. Est.	0
40	1	0
	2	0
	3	0
	Promedio	0
	Desv. Est.	0
80	1	8
	2	16
	3	8
	Promedio	11
	Desv. Est.	5
120	1	40
	2	32
	3	32
	Promedio	35
	Desv. Est.	5
240	1	144
	2	144
	3	138
	Promedio	142
	Desv. Est.	3

Tabla N° 60. Porcentaje de reflectancia en función de la longitud de onda para las muestras semi-blanqueadas

Longitud de onda (nm)	Porcentaje de reflectancia														
	0 mg/l					40 mg/l					80 mg/l				
	1	2	3	Prom.	Desv. Est.	1	2	3	Prom.	Desv. Est.	1	2	3	Prom.	Desv. Est.
400	76,2	76,4	78,0	76,9	1,0	74,1	76,8	75,1	75,3	1,4	80,2	75,6	76,1	77,3	2,5
420	80,2	80,3	81,4	80,6	0,7	77,8	80,2	79,2	79,1	1,2	83,0	79,1	79,8	80,6	2,1
440	82,9	82,3	83,1	82,7	0,4	80,5	82,9	82,1	81,8	1,2	85,0	81,9	82,5	83,1	1,7
460	84,6	84,6	85,4	84,9	0,5	82,5	84,7	83,9	83,7	1,1	86,2	83,6	84,2	84,7	1,3
480	86,1	86,2	86,8	86,4	0,4	84,3	86,4	85,5	85,4	1,0	87,4	85,2	85,9	86,2	1,1
500	87,2	87,2	87,8	87,4	0,3	85,6	87,5	86,7	86,6	0,9	88,2	86,5	87,0	87,2	0,9
520	88,1	88,1	88,6	88,3	0,3	86,8	88,5	87,8	87,7	0,9	90,0	87,6	88,0	88,5	1,3
540	88,9	88,8	89,4	89,0	0,3	87,8	89,3	88,6	88,6	0,8	88,7	88,5	88,8	88,7	0,2
560	89,3	89,3	89,7	89,4	0,2	88,3	89,8	89,3	89,2	0,8	90,2	89,1	89,4	89,5	0,6
580	89,5	89,6	89,8	89,6	0,1	88,7	90,1	89,6	89,5	0,7	90,4	89,4	89,7	89,8	0,5
600	89,9	89,9	90,0	89,9	0,1	89,0	90,3	89,9	89,7	0,7	90,7	89,8	89,0	89,8	0,9
620	89,9	89,9	89,8	89,9	0,0	89,0	90,2	89,8	89,7	0,6	90,5	89,8	89,9	90,1	0,4
640	89,8	89,8	89,3	89,6	0,3	88,9	90,0	89,7	89,6	0,6	90,4	89,7	89,8	89,9	0,4
660	89,7	89,7	89,1	89,5	0,4	88,9	90,0	89,7	89,5	0,5	90,3	89,7	89,7	89,9	0,4
680	89,8	89,8	89,6	89,8	0,1	89,1	90,2	89,0	89,4	0,6	90,4	89,7	89,8	90,0	0,4
700	89,7	89,8	89,0	89,5	0,4	89,0	90,2	89,0	89,4	0,6	90,4	89,7	89,7	89,9	0,4

Tabla N° 60. Porcentaje de reflectancia en función de la longitud de onda para las muestras semi-blanqueadas. Cont.

Longitud de onda (nm)	Porcentaje de reflectancia										Estándar
	120 mg/l					240 mg/l					
	1	2	3	Prom.	Desv. Est.	1	2	3	Prom.	Desv. Est.	
400	75,5	74,3	73,7	74,5	0,9	71,5	73,1	73,6	72,7	1,1	80,2
420	78,6	77,7	77,3	77,9	0,7	75,4	76,7	77,1	76,4	0,9	83,0
440	81,2	80,4	80,0	80,5	0,6	78,6	79,4	79,9	79,3	0,7	85,3
460	82,9	82,2	81,8	82,3	0,5	80,8	81,3	81,9	81,3	0,5	86,8
480	84,6	83,9	83,5	84,0	0,6	82,8	83,2	83,7	83,2	0,5	88,3
500	85,8	85,2	84,7	85,2	0,5	84,3	84,4	85,0	84,6	0,4	89,3
520	87,0	86,3	85,9	86,4	0,5	85,6	85,7	86,3	85,9	0,4	90,1
540	87,8	87,2	87,0	87,3	0,4	86,6	86,7	87,4	86,9	0,4	90,8
560	88,5	87,9	87,6	88,0	0,5	87,3	87,5	88,2	87,7	0,4	91,3
580	88,9	88,3	88,0	88,4	0,4	87,8	87,9	88,5	88,1	0,4	91,4
600	89,1	88,6	88,4	88,7	0,4	88,1	88,2	88,8	88,4	0,4	91,5
620	89,2	88,5	88,3	88,7	0,4	89,1	88,2	88,8	88,7	0,4	91,4
640	89,1	88,6	88,3	88,7	0,4	88,0	88,1	88,6	88,3	0,3	91,4
660	89,1	88,6	88,2	88,6	0,5	88,0	88,1	88,5	88,2	0,3	91,3
680	89,2	88,6	88,3	88,7	0,4	88,1	88,3	88,1	88,2	0,1	91,4
700	89,2	88,6	88,4	88,7	0,4	88,2	88,2	88,9	88,4	0,4	91,4

Tabla N° 61. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras semi-blanqueadas

Dureza (mg/l)	Prueba	L*	a*	b*	c*	h
	Estándar	95,8	-0,7	3,2	3,3	101,4
0	1	95,0	-0,5	3,2	3,2	99,7
	2	94,8	-0,6	3,2	3,2	100,4
	3	94,7	-0,4	3,5	3,5	97,3
	Promedio	94,8	-0,5	3,3	3,3	99,1
	Desv. Est.	0,1	0,1	0,2	0,2	1,7
40	1	94,5	-0,7	4,1	4,2	99,3
	2	95,0	-0,5	4,0	4,0	97,7
	3	94,6	-0,5	3,3	3,4	99,3
	Promedio	94,7	-0,6	3,8	3,9	98,7
	Desv. Est.	0,2	0,1	0,4	0,4	0,9
80	1	94,6	-0,4	2,7	2,8	97,3
	2	94,7	-0,5	3,7	3,7	97,0
	3	94,5	-0,6	3,8	3,8	98,4
	Promedio	94,6	-0,5	3,4	3,4	97,6
	Desv. Est.	0,1	0,1	0,6	0,6	0,7
120	1	94,1	-0,4	4,3	4,2	95,9
	2	94,0	-0,5	4,6	4,6	96,4
	3	94,4	-0,5	4,2	4,0	96,6
	Promedio	94,2	-0,5	4,4	4,3	96,3
	Desv. Est.	0,2	0,0	0,2	0,3	0,4
240	1	94,1	-0,6	4,7	4,7	97,0
	2	94,1	-0,7	4,9	4,9	98,3
	3	93,6	-0,6	4,8	4,8	96,6
	Promedio	94,0	-0,6	4,8	4,8	97,3
	Desv. Est.	0,3	0,1	0,1	0,1	0,9

Tabla N° 62. Desviación de los valores experimentales respecto a la muestra estándar para el grado de blanco en el proceso de blanqueo

Longitud de onda (nm)	Porcentaje de desviación de los valores experimentales respecto a la muestra estándar				
	0 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	120 mg/l	240 mg/l
400	4,2	6,1	3,6	7,1	9,3
420	2,9	4,8	2,9	6,2	8,0
440	3,0	4,0	2,5	5,6	7,0
460	2,3	3,6	2,5	5,2	6,3
480	2,1	3,3	2,4	4,8	5,7
500	2,1	3,0	2,3	4,5	5,2
520	2,0	2,7	1,8	4,1	4,7
540	1,9	2,4	2,3	3,8	4,3
560	2,0	2,3	1,9	3,6	4,0
580	1,9	2,1	1,7	3,3	3,6
600	1,8	2,0	1,9	3,1	3,4
620	1,7	1,9	1,5	3,0	3,0
640	1,9	2,0	1,6	3,0	3,4
660	2,0	1,9	1,5	2,9	3,4
680	1,8	2,1	1,5	2,9	3,5
700	2,0	2,1	1,6	2,9	3,2
Promedio	2,2	2,9	2,1	4,1	4,9
Desv. Est.	0,6	1,2	0,6	1,3	1,9

Tabla N° 63. Pruebas de control de calidad para el proceso de blanco-blanco

Dureza (mg/l)	Prueba	Resistencia a la tensión (lb)		Contenido de dureza en la tela (mg/l)	Hidrofilidad Tiempo (s)	pH de la tela
		Sentido				
		Urdimbre	Trama			
0	1	50,5	40,0	0	< 1	7,2
	2	52,5	40,5	0	< 1	7,9
	3	54,0	38,5	0	< 1	7,2
	Promedio	52,3	39,7	0	< 1	7,5
	Desv. Est.	1,8	1,0	0	0	0,4
40	1	53,5	40,0	0	< 1	8,0
	2	53,5	37,5	0	< 1	8,4
	3	52,0	38,0	0	< 1	5,5
	Promedio	53,0	38,5	0	< 1	7,3
	Desv. Est.	0,9	1,3	0	0	1,6
80	1	48,0	37,5	20	< 1	5,4
	2	49,0	38,0	20	< 1	8,3
	3	48,0	39,0	20	< 1	7,3
	Promedio	48,3	38,2	20	< 1	7,0
	Desv. Est.	0,6	0,8	0	0	1,5
120	1	49,0	37,0	20	< 1	7,6
	2	48,5	39,0	24	< 1	8,3
	3	47,5	36,5	24	< 1	7,3
	Promedio	48,3	37,5	23	< 1	7,7
	Desv. Est.	0,8	1,3	2	0	0,5
240	1	47,0	35,0	28	< 1	8,4
	2	48,0	34,0	28	< 1	8,4
	3	47,5	39,5	40	< 1	8,2
	Promedio	47,5	36,2	32	< 1	8,3
	Desv. Est.	0,5	2,9	7	0	0,1

Tabla N° 64. Porcentaje de reflectancia en función de la longitud de onda para las muestras blancas

Longitud de onda (nm)	Porcentaje de reflectancia														
	0 mg/l					40 mg/l					80 mg/l				
	1	2	3	Prom.	Desv. Est.	1	2	3	Prom.	Desv. Est.	1	2	3	Prom.	Desv. Est.
400	23,4	24,0	24,2	23,9	0,4	21,8	21,0	20,0	20,9	0,9	22,9	22,2	21,5	22,2	0,7
420	78,9	79,7	80,5	79,7	0,8	77,0	76,3	74,7	76,0	1,2	77,2	77,3	76,7	77,1	0,3
440	101,7	102,0	103,1	102,2	0,7	101,6	102,0	101,0	101,6	0,5	101,2	101,9	100,6	101,2	0,7
460	97,2	97,2	98,4	97,6	0,7	97,0	97,4	96,9	97,1	0,2	96,7	97,3	96,3	96,8	0,5
480	94,1	94,0	95,2	94,4	0,7	93,7	93,3	93,4	93,4	0,2	93,3	93,9	93,2	93,5	0,4
500	91,6	91,4	92,7	91,9	0,7	91,0	91,3	90,8	91,0	0,2	90,7	91,2	90,8	90,9	0,3
520	90,9	90,7	91,9	91,2	0,6	90,1	90,4	89,9	90,2	0,2	89,9	90,3	90,0	90,1	0,2
540	90,9	90,7	91,9	91,2	0,7	90,0	90,3	89,9	90,1	0,2	89,6	90,2	89,9	89,9	0,3
560	90,8	90,6	91,8	91,1	0,6	89,8	90,2	89,8	89,9	0,2	89,4	90,0	89,8	89,7	0,3
580	90,8	90,5	91,7	91,0	0,6	89,6	90,1	89,5	89,7	0,3	89,4	89,9	89,8	89,7	0,2
600	90,7	90,5	91,8	91,0	0,7	89,8	90,2	89,7	89,9	0,3	89,7	90,1	90,1	89,9	0,2
620	90,5	90,3	91,5	90,8	0,6	89,8	90,1	89,5	89,8	0,3	89,8	90,0	90,1	90,0	0,2
640	90,1	89,7	91,0	90,3	0,7	89,3	89,5	88,9	89,2	0,3	89,4	89,9	89,8	89,7	0,2
660	89,8	89,3	90,7	89,9	0,7	89,9	89,1	88,4	89,1	0,7	89,2	89,6	89,6	89,5	0,2
680	90,1	89,8	91,0	90,3	0,6	89,3	89,5	89,0	89,3	0,3	89,5	89,7	89,7	89,6	0,2
700	90,2	89,8	91,1	90,4	0,7	89,3	89,6	88,2	89,0	0,8	89,4	89,6	89,6	89,6	0,1

Tabla N° 64. Porcentaje de reflectancia en función de la longitud de onda para las muestras blancas. Cont.

Longitud de onda (nm)	Porcentaje de reflectancia										Estándar
	120 mg/l					240 mg/l					
	1	2	3	Prom.	Desv. Est.	1	2	3	Prom.	Desv. Est.	
400	23,0	22,2	20,5	21,9	1,3	18,5	18,9	18,5	18,7	0,2	25,4
420	76,3	75,2	72,3	74,6	2,1	72,2	72,7	71,4	72,1	0,7	81,7
440	98,8	96,5	94,5	96,6	2,1	98,6	99,6	97,3	98,5	1,2	104,2
460	94,6	92,4	90,8	92,6	1,9	94,6	95,4	93,1	94,4	1,2	99,6
480	91,5	89,5	88,1	89,7	1,7	91,3	92,1	89,9	91,1	1,1	96,2
500	89,1	87,3	85,9	87,4	1,6	88,7	89,3	87,4	88,5	1,0	93,6
520	88,3	86,8	85,5	86,9	1,4	87,8	88,4	86,7	87,6	0,9	92,9
540	88,3	86,8	85,6	86,9	1,4	87,7	88,1	86,6	87,4	0,8	92,6
560	88,3	86,9	85,5	86,9	1,4	87,6	88,0	86,6	87,4	0,7	92,7
580	88,2	87,0	85,8	87,0	1,2	87,6	88,0	86,8	87,5	0,6	92,7
600	88,5	87,3	86,2	87,3	1,2	88,0	88,4	87,2	87,9	0,6	92,8
620	88,5	87,4	86,3	87,4	1,1	88,3	88,6	87,5	88,1	0,6	92,5
640	88,4	87,3	86,1	87,2	1,2	88,2	88,5	87,4	88,0	0,6	91,9
660	88,2	87,1	85,9	87,1	1,1	87,9	88,2	87,2	87,8	0,5	91,5
680	88,3	87,2	86,1	87,2	1,1	88,1	88,3	87,3	87,9	0,5	92,0
700	88,2	87,1	86,0	87,1	1,1	88,0	88,2	87,1	87,8	0,5	92,0

Tabla N° 65. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras blancas

Dureza (mg/l)	Prueba	L*	a*	b*	c*	h
	Estándar	97,3	0,2	-2,6	2,6	277,2
0	1	96,9	0,2	-2,4	2,4	274,3
	2	96,6	0,2	-2,5	2,5	275,2
	3	97,0	0,2	-2,4	2,5	275,4
	Promedio	96,8	0,2	-2,4	2,5	275,0
	Desv. Est.	0,2	0,0	0,0	0,0	0,6
40	1	96,4	0,3	-2,7	2,7	273,5
	2	96,2	0,2	-2,4	2,4	273,4
	3	96,5	0,0	-2,5	2,5	270,0
	Promedio	96,3	0,1	-2,5	2,5	272,3
	Desv. Est.	0,2	0,1	0,1	0,1	2,0
80	1	96,0	0,3	-2,6	2,6	276,5
	2	96,3	0,4	-2,8	2,8	277,4
	3	96,1	0,2	-1,9	1,9	276,1
	Promedio	96,1	0,3	-2,4	2,4	276,6
	Desv. Est.	0,2	0,1	0,5	0,5	0,7
120	1	95,5	0,4	-2,2	2,2	279,5
	2	95,2	0,5	-1,9	1,9	285,0
	3	94,9	0,5	-1,4	1,5	288,8
	Promedio	95,2	0,5	-1,8	1,9	284,4
	Desv. Est.	0,3	0,1	0,4	0,3	4,7
240	1	95,4	0,3	-2,3	2,3	276,7
	2	95,3	0,3	-2,2	2,2	276,8
	3	95,0	0,4	-1,8	1,9	281,0
	Promedio	95,2	0,3	-2,1	2,1	278,1
	Desv. Est.	0,2	0,1	0,3	0,2	2,5

Tabla N° 66. Desviación de los valores experimentales respecto a la muestra estándar para el grado de blanco del proceso de blanco-blanco

Longitud de onda (nm)	Porcentaje de desviación de los valores experimentales respecto a la muestra estándar				
	0 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	120 mg/l	240 mg/l
400	6,0	14,9	12,5	13,8	26,5
420	2,5	7,0	5,7	8,7	11,8
440	1,9	2,6	2,9	7,3	5,5
460	2,0	2,5	2,8	7,0	5,2
480	1,8	2,9	2,8	6,8	5,3
500	1,8	2,8	2,9	6,6	5,5
520	1,8	2,9	3,0	6,5	5,7
540	1,5	2,7	2,9	6,1	5,6
560	1,8	3,0	3,2	6,3	5,8
580	1,8	3,2	3,2	6,1	5,7
600	1,9	3,1	3,0	5,8	5,3
620	1,9	2,9	2,8	5,5	4,7
640	1,8	2,9	2,4	5,1	4,3
660	1,8	2,6	2,3	4,9	4,1
680	1,8	2,9	2,5	5,2	4,4
700	1,8	3,3	2,7	5,4	4,6
Promedio	2,1	3,9	3,6	6,7	6,9
Desv. Est.	1,0	3,0	2,4	2,0	5,3

Tabla N° 67. Pruebas de control de calidad para el proceso de teñido semi-continuo

Dureza (mg/l)	Prueba	Solidez al lavado (Escala de grises) *			Solidez al Frote (Tabla cromática)		Hidrofilidad Tiempo (s)
		Degradación	Transferencia según género		Transferencia *		
			Similar	Distinto	Seco	Húmedo	
0	1	4	2	4	4-5	4	6,3
	2	4	2	3-4	4-5	4	5,1
	3	4	2	3-4	4-5	4	6,1
	Promedio	4	2	3-4	4-5	4	5,8
40	1	4-5	2	3-4	5	4	3,4
	2	4-5	2	3-4	5	4	2,6
	3	4-5	2	3-4	5	4	2,9
	Promedio	4-5	2	3-4	5	4	3,0
80	1	4-5	2	3	5	4-5	3,2
	2	4-5	2	3-4	5	4-5	2,1
	3	4	2	3-4	5	4-5	4,2
	Promedio	4-5	2	3-4	5	4-5	3,1
120	1	4-5	2	3	5	3	3,8
	2	4-5	1-2	3-4	5	3-4	4,1
	3	4	1-2	3-4	5	3-4	4,8
	Promedio	4-5	1-2	3-4	5	3-4	4,2
240	1	4	2	3-4	4-5	4	8,0
	2	4-5	1-2	3-4	4-5	4	5,4
	3	3-4	1-2	3-4	4-5	4	11,6
	Promedio	4	1-2	3-4	4-5	4	8,3

(*) 5 no hay transferencia o degradación, 1 máxima transferencia o degradación

Tabla N° 68. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras del teñido semi-continuo

Dureza (mg/l)	Prueba	L*	a*	b*	c*	h
	Estándar	29,3	-19,6	-2,0	18,6	186,2
0	1	28,2	-19,1	-2,8	19,3	188,3
	2	26,5	-18,8	-2,8	19,0	188,4
	3	28,3	-19,4	-3,0	19,6	188,8
	Promedio	27,7	-19,1	-2,8	19,3	188,5
	Desv. Est.	1,0	0,3	0,1	0,3	0,2
40	1	28,2	-19,6	-2,2	19,8	186,5
	2	29,0	-19,9	-2,8	20,1	188,1
	3	29,2	-19,8	-2,5	20,0	187,3
	Promedio	28,8	-19,8	-2,5	19,9	187,3
	Desv. Est.	0,5	0,1	0,3	0,2	0,8
80	1	29,8	-19,5	-4,0	19,9	191,5
	2	30,6	-19,7	-4,0	20,1	191,6
	3	28,5	-19,0	-4,0	19,4	192,0
	Promedio	29,6	-19,4	-4,0	19,8	191,7
	Desv. Est.	1,1	0,4	0,0	0,4	0,3
120	1	29,3	-18,8	-4,4	19,3	193,3
	2	29,5	-18,6	-5,0	19,3	195,1
	3	29,0	-18,5	-4,4	19,0	193,5
	Promedio	29,2	-18,6	-4,6	19,2	194,0
	Desv. Est.	0,2	0,1	0,3	0,2	1,0
240	1	27,8	-18,4	-4,8	19,5	188,1
	2	28,5	-18,4	-4,8	19,6	188,2
	3	29,0	-19,0	-4,5	20,2	187,2
	Promedio	28,4	-18,6	-4,7	19,8	187,8
	Desv. Est.	0,6	0,4	0,2	0,3	0,6

Tabla N° 69. Pruebas de control de calidad para el proceso de teñido continuo

Dureza (mg/l)	Prueba	Solidez al lavado (Escala de Grises) *			Solidez al Frote (Tabla Cromática)		Hidrofilidad Tiempo (s)
		Degradación	Transferencia según el género		Transferencia *		
			Similar	Distinto	Seco	Húmedo	
0	1	4-5	4	4-5	5	5	< 1
	2	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	3	4	4-5	4-5	5	5	< 1
	Promedio	4-5	4-5	4-5	5	5	< 1
40	1	4-5	4	4-5	5	4-5	< 1
	2	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	3	4	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	Promedio	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
80	1	4	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	2	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	3	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	Promedio	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
120	1	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	2	4-5	4	4-5	5	4-5	< 1
	3	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	Promedio	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
240	1	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	2	4-5	4-5	4-5	5	4	< 1
	3	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1
	Promedio	4-5	4-5	4-5	5	4-5	< 1

(*) 5 no hay transferencia o degradación, 1 máxima transferencia o degradación

Tabla N° 70. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras del teñido continuo

Dureza (mg/l)	Prueba	L*	a*	b*	c*	h
	Estándar	57,4	3,6	9,1	9,8	68,6
0	1	56,2	3,2	9,1	9,7	70,8
	2	57,0	3,3	9,0	9,6	69,7
	3	56,9	3,2	9,2	9,8	71,0
	Promedio	56,7	3,2	9,1	9,7	70,5
	Desv. Est.	0,5	0,1	0,1	0,1	0,7
40	1	56,9	3,4	9,2	9,8	69,9
	2	57,6	2,9	8,9	9,4	71,8
	3	56,1	3,0	9,0	8,6	76,3
	Promedio	56,8	3,1	9,0	9,3	72,7
	Desv. Est.	0,7	0,2	0,2	0,6	3,3
80	1	53,6	3,6	9,4	10,1	69,4
	2	55,5	3,1	9,0	9,5	71,2
	3	55,4	2,5	9,1	9,4	74,9
	Promedio	54,8	3,0	9,2	9,7	71,8
	Desv. Est.	1,1	0,6	0,2	0,4	2,8
120	1	53,8	2,7	8,5	8,8	75,1
	2	54,1	2,6	8,6	9,0	73,3
	3	54,0	2,8	8,9	9,4	72,6
	Promedio	54,0	2,7	8,7	9,1	73,7
	Desv. Est.	0,2	0,1	0,2	0,3	1,3
240	1	54,1	2,6	9,2	9,7	72,7
	2	53,2	2,8	9,1	9,5	73,0
	3	53,7	2,5	8,9	9,2	74,4
	Promedio	53,6	2,62	9,1	9,5	73,4
	Desv. Est.	0,4	0,2	0,2	0,2	0,9

Tabla N° 71. Pruebas de control de calidad para el proceso de teñido por agotamiento

Dureza (mg/l)	Prueba	Solidez al lavado (Escala de Grises) *			Solidez al Frote (Tabla Cromática)		Hidrofilidad Tiempo (s)
		Degradación	Transferencia según el género		Transferencia *		
			Similar	Distinto	Seco	Húmedo	
0	1	4-5	2-3	4-5	4-5	4	<1
	2	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
	3	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
	Promedio	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
40	1	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
	2	4-5	3	4-5	4-5	4	<1
	3	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
	Promedio	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
80	1	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
	2	4	3	4-5	4-5	4	<1
	3	4-5	2-3	4-5	4-5	4	<1
	Promedio	4	2-3	4-5	4-5	4	<1
120	1	4-5	2-3	4-5	4-5	4	<1
	2	4-5	2-3	4-5	4-5	4	<1
	3	4-5	2-3	4-5	4-5	4	<1
	Promedio	4-5	2-3	4-5	4-5	4	<1
240	1	4-5	3	4-5	4-5	4	<1
	2	4-5	3	4-5	4-5	4	<1
	3	4-5	3	4-5	4-5	4	<1
	Promedio	4-5	3	4-5	4-5	4	<1

(*) 5 no hay transferencia o degradación, 1 máxima transferencia o degradación

Tabla N° 72. Parámetros del sistema CIELAB para las muestras del teñido por agotamiento

Dureza (mg/l)	Prueba	L*	a*	b*	c*	h
	Estándar	41,5	47,2	18,0	49,9	21,0
0	1	41,4	47,7	18,2	51,1	20,9
	2	41,7	47,2	17,5	50,4	20,3
	3	40,4	47,4	19,5	51,3	22,3
	Promedio	41,2	47,4	18,4	50,9	21,2
	Desv. Est.	0,7	0,2	1,0	0,5	1,0
40	1	41,1	47,3	18,2	50,6	21,1
	2	40,7	47,3	18,6	50,8	21,5
	3	39,7	47,2	19,5	51,1	22,4
	Promedio	40,5	47,2	18,8	50,8	21,7
	Desv. Est.	0,8	0,0	0,7	0,2	0,7
80	1	41,3	47,3	18,1	50,6	20,9
	2	41,3	47,1	17,8	50,4	20,7
	3	41,2	46,7	17,5	49,9	20,5
	Promedio	41,3	47,0	17,8	50,3	20,7
	Desv. Est.	0,1	0,3	0,3	0,4	0,2
120	1	40,9	46,9	17,3	49,6	20,5
	2	41,1	46,5	17,0	49,2	20,2
	3	41,3	46,6	16,6	49,1	19,7
	Promedio	41,1	46,6	16,9	49,3	20,1
	Desv. Est.	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4
240	1	41,5	46,6	17,1	49,7	20,1
	2	41,0	46,8	17,6	50,0	20,6
	3	41,9	46,4	16,5	49,2	19,6
	Promedio	41,5	46,6	17,1	49,6	20,1
	Desv. Est.	0,5	0,2	0,5	0,4	0,5

Tabla N° 73. Solidez de los colorantes empleados en los teñidos según fabricantes

Colorante	Solidez al lavado (según COVENIN 759)		Tipo	Estabilidad en agua (min.)	Solidez al Blanqueo (Transferencia)
	Transferencia	Degradación			
Amarillo C-5-G	4-5	4-5	Reactivo	30	----
Azul Turquesa GN	3-4	5	Reactivo	30	----
Azul Marino SG	5	5	Reactivo	30	----
Rojo Deep S-B	4-5	5	Reactivo	20	----
Rojo FBB	5	5	Tina	30	5
Amarillo GC	5	5	Tina	30	5
Pardo BR	5	5	Tina	30	----
Verde oliva B	4-5	5	Tina	30	----

Fuente: Catálogo de colorantes Cibacron, 1994. Catálogo de colorantes Indanthrene, BASF, 1988

Apéndice C. Definición de las propuestas

Tabla N° 74. Porcentaje de reflectancia en función de la longitud de onda para las muestras semi-blanqueadas con la reformulación de secuestrante

Longitud de onda (nm)	% de reflectancia				Estándar
	% de secuestrante adicionado				
	100	70	50	0	
400	77,9	78,2	77,3	73,2	80,2
420	80,5	81,0	80,1	77,2	83,0
440	83,2	83,6	82,5	79,6	85,3
460	84,8	84,8	84,1	81,3	86,8
480	86,1	85,9	85,3	82,4	88,3
500	87,6	87,3	86,9	83,2	89,3
520	88,8	88,5	88,0	83,9	90,1
540	89,4	89,1	88,4	84,4	90,8
560	89,7	89,3	88,7	84,4	91,3
580	89,8	89,5	88,8	84,4	91,4
600	90,0	89,7	89,0	84,5	91,5
620	89,8	89,7	88,9	84,3	91,4
640	89,8	89,7	88,8	84,3	91,4
660	89,7	89,8	88,8	84,2	91,3
680	89,7	89,8	89,0	84,5	91,4
700	89,7	89,9	88,9	84,3	91,4

Tabla N° 75. Desviación de los valores experimentales respecto a la muestra estándar para el grado de blanco del proceso de blanqueo con la reformulación de secuestrante

Longitud de onda (nm)	Porcentaje de desviación de los valores experimentales respecto a la muestra estándar			
	% de secuestrante adicionado			
	100	70	50	0
400	2,9	2,5	3,7	8,8
420	3,1	2,5	3,5	7,0
440	2,4	1,9	3,2	6,6
460	2,3	2,3	3,1	6,4
480	2,5	2,7	3,4	6,6
500	1,8	2,2	2,6	6,8
520	1,4	1,8	2,4	6,9
540	1,5	1,9	2,6	7,1
560	1,7	2,2	2,8	7,6
580	1,7	2,0	2,8	7,6
600	1,7	2,0	2,7	7,7
620	1,8	1,9	2,8	7,8
640	1,7	1,9	2,8	7,8
660	1,8	1,7	2,8	7,7
680	1,9	1,7	2,6	7,6
700	1,8	1,7	2,7	7,7
Promedio	2,0	2,0	2,9	7,4
Desv. Est.	0,5	0,3	0,4	0,6

Tabla N° 76. Parámetros operacionales y técnicos de la resina catiónica fuerte TULSION® T-42 Na SM

Condiciones operacionales típicas	
Máxima temperatura de operación	140 °C
Profundidad mínima del lecho de resina	800 mm
Máximo flujo de servicio	40 m/h
Velocidad lineal para retrolavado	7 m/h a 20 °C
Nivel de regenerante	100-200 g/l
Concentración del regenerante	8-10 %
Velocidad lineal de regeneración	5 m/h
Tiempo de regeneración	20-60 minutos
Características técnicas de la resina	
Tipo	Resina catiónica fuerte
Matriz	Poliestireno reticulado
Grupo funcional	Ácido Sulfónico
Forma física	Esferas de color marrón oscuro
Forma iónica	Sodio
Distribución de partículas	95% min.
Capacidad total de intercambio	2,0 eq/l min.
Densidad	1,24-1,27 g/ml
Rango de operación pH	0-14
Solubilidad	Insoluble en todos los solventes comunes
Hinchamiento	7% aprox.

Tabla N° 77. Volúmenes procesados por los suavizadores actuales

Suavizador				
N° ensayo	S-1	S-1	S-1	S-1
1	547	566	753	858
2	530	601	860	686
3	545	612	898	667
4	523	710	903	657
5	655	598	879	645
6	702	496	856	724
7	461	485	811	687
8	503	578	828	617
9	464	554	817	710
10	487	624	798	628
11	411	607	827	656
12	626	552	832	689
13	460	567	856	722
14	464	624	778	731
Promedio	527	584	835	691
Desviación	83	56	43	60

COTIZACIONES



Quitsum, c.a.

Equipos y Productos para Tratamientos de Agua, Azúcar y Petróleo.

RIF:J-300994638-9

RESINAS INTERCAMBIO IONICO TULSION

Q.8492 -06

Turmero, 22 de Junio de 2006.

Señores

TELARES LOS PALOS GRANDES, C.A.

Caracas-Venezuela

Atención: Ing. Nelson Lazcano.

Asunto: Cotización Suavizador Quitsum.

Estimados Señores:

Tenemos el agrado de cotizarles el siguiente equipo suavizador :

POS	Equipo	Precio Bs
02	Suavizador Modelo: Quitsum TUP-SIMS-IX Dureza total agua alimentación: 160 ppm CaCO ₃ Caudal Operación: 17 m ³ /h-30 m ³ /h Ciclo de operación: 48 h Presión de trabajo: 35-75 PSI Cantidad de agua suavizada: 816 m ³ -462 m ³ Entrada/salida: 3" Operación: Manual con válvulas paso rápido. Dimensiones: Diámetro: 60"x h: 72" Material Construcción: acero al carbono, recubierto en epoxi.. Resinas intercambiadoras: Marca: TULSION-THERMAX Resina Catiónica Tulsion T-42 Na UPS o equivalente: 70 pie ³ Cloruro de sodio a consumir: 500Kg	28.965.380,00+IVA
03	Planos y manuales de operación(01) Incluido Kit dureza monitor	

2. Condiciones Generales de la Venta:

Precios: FOB Caracas , tomando el tipo de cambio de Bs 2150/ Us\$,no se incluye montaje, ni suministro de bomba de alimentación de agua y drenajes por cuenta del cliente, incluye asesoría en el montaje y arranque del mismo.

Forma de Pago: 50 % con orden, 50% a la entrega física

Transporte: NUESTRO.

Validez de la oferta: 5 días, siempre que el dólar americano no exceda los Bs 2.150

Tiempo de entrega: 20 días hábiles después de recibida la orden de compra.

Garantía: 12 meses en cuanto al funcionamiento del equipo, los componentes del mismo las de los fabricantes.

Atentamente

Por QUITSUM, C.A

Carlos Conde.

Ingeniero Especialista en Intercambio Iónico
y aplicaciones especiales Senior
0414-451 3490

Química y Tecnología de Suministros, C.A.(QUITSUM, C.A.) RIF J-30099436-8Calle Peñalver,
Galpón 63-1, Turmero-Aragua-Venezuela, telefax: 58- 244-6636801-0277, e-mail:

quitsunca@cantv.net, www.quitsum.com

LAB WATER

INTERNATIONAL, S.A.

R.I.F. J-07048802-6

LABORATORIO APROBADO POR M.S.D.S. BAJO EL N° R5-002
MIEMBRO ACTIVO DE FONDONORMA-COVENIM

ANÁLISIS DE AGUAS, EQUIPOS DE LABORATORIO, ASESORIA,
DISEÑO, VENTA, SERVICIO Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS, EQUIPOS INDUSTRIALES, FILTROS,
HIDRONEUMÁTICOS, BOMBAS CENTRÍFUGAS Y DOSIFICADORAS,
QUÍMICOS, TANQUES PARA AGUAS Y QUÍMICOS.

N° DE COTIZACIÓN: 5-6-200

CLIENTE:	C.A. TELARES DE PALO GRANDE	FECHA:	Junio 21 - 2006
REF:	Cotización SUAVIZADORES	VALIDEZ:	10 días
ATENCION:	Lic. ISABEL SÁNCHEZ	MONEDA:	VE Bs.
DIRECCION:	Tlf. 4033534 Fax: 4317375 / 0625	TELEF:	0212 4033534

PENGLON	DESCRIPCION	CANT	P/UNITARIO	P/TOTAL
	En atención a su solicitud y con base en los datos suministrados por ustedes (412121 GPD x 7.2 grains/galón) presentamos la siguiente oferta:			
1	SUAVIZADOR, Mod. QW487240-3 Fabricados en Plástico reforzado con Fibra de Vidrio. Diámetro: 48". Altura: 72". Resina: 40 pies3. c/u Válvula FLECK, Mod. 3900. Diámetro: 3" (in-out), 11 automática. Fabricada en Bronce. 250 GPM. c/u. Distribuidores y Colectores internos: PVC Tanque de Salmuera: Polietileno	3.00	35.500.000,00	112.500.000,00
2	FLOW METER (Opcional) Regenera según galones de agua programados	3.00	3.000.000,00	9.000.000,00
	Se cotizan tres (3) equipos para garantizar agua suave, las veinticuatro (24) horas al día. MANO DE OBRA INSTALACIÓN No incluye materiales de instalación.	3.00	2.000.000,00	6.000.000,00
1-A	SUAVIZADOR, Mod. QW487240-3. USS FOB, MIAMI	3.00	\$ 12.000,00	\$ 36.000,00
2-A	FLOW METER (Opcional) USS Estos equipos serían facturados por Quality Service Investment, Inc. NO SE COBRA IVA www.qualitywater.com.ve qualitywaterint@cantv.net	3.00	\$ 1.200,00	\$ 3.600,00

SUB-TOTAL
I.V.A. (14 %)
TOTAL

VISITE NUESTRA PAGINA WEB:
www.qualitywater.com.ve

ATENTAMENTE OBSERVACIONES:
Forma de pago: EQUIPOS IMPORTADOS: Prepago. Precios no incluyen IVA
Tiempo de entrega: 3 a 5 semanas. Tiempo de instalación: 2 a 4 días
Garantías: TANQUES: 5 años. VÁLVULAS: 2 años. RESINA: 5 años
Yedid Medina T. Los equipos se entregarían en sitio y funcionando.
qualitywaterint@cantv.net
FAVOR EMITIR ORDEN DE COMPRA A NOMBRE DE: LAB WATER DE VENEZUELA, S.A.

ORIGINAL

CALLE TO N° 14A-136 QUINTA WATER, MARACAIBO-EDO. ZULIA
TELÉFONOS: 0261- 7975124 / 7984320 / 7979584 FAX: 0261- 7975054 CORREO ELECTRONICO: qualitywaterint@cantv.net
SUCURSAL: Calle A, Quinta No 38, Lot Rukoo, CARACAS-DISTRITO CAPITAL TELÉFONOS: 0212- 2371886 / 2396847 Telefax 2344709
PAGINA WEB: www.qualitywater.com.ve



CIENCIA Y TECNOLOGIA
CAPITAL Bs. 200.000.000,00

RESID. EDISON, LOCAL P.B. - CARACAS
TEL.F.: 278.58.11 (Master)
FAX : 285.48.18 - 283.42.53 - 283.63.35
E-Mail : didactacolizac@intercable.net.ve
RIF. J-00011271-1
N.I.T. 0005054630

NUMERO : 88576
PAGINA : 1
Caracas 26/01/2006

C280A C.A.TELARES DE PALO GRANDE
Atn: SRA. YSABEL
Zona Industrial Ruiz Pineda -Caricuao
Caracas
Entrega =
Dpto. Capital
Rif J-00036157-6 Nit 00431607-0-2
Telf 4033509

REQUISICION S/N
ASESOR # 1
COND. PAGO Contado
TRANSPORTE DIDACTA
Permiso PTJ 1

Linea	Código	Cantidad	Descripción	P. Unitario	Importe
1	24 E260020	4	ERLENMEYER GRADUADO 250 ml KIMAX 26500	11.190,00	44.760,00
2	24 V010026	2	VASO DE PRECIPITADO GRADUADO 100 ml PYREX 1000E	8.716,00	17.432,00
3	24 V010035	1	VASO DE PRECIPITADO GRADUADO 250 ml KIMAX 14000	8.716,00	8.716,00
4	24 V010045	1	VASO DE PRECIPITADO GRADUADO 600 ml KIMAX 14000	12.811,00	12.811,00
5	24 B650010	3	BURETA AUTOMATICA TIPO SCHILLING 25 ml ± 0.1 ml CON ENVASE PLASTICO DE 1000 ml POBEL	106.262,00	318.786,00
6	24 B580011	2	BURETA AUTOMATICA CLASE "A" AMBAR 25 ± 0.1 ml DOS LLAVES DE TEFLON, VIDRIO BOROSILICATO, FRASCO RESERVORIO DE 2 L Y PERA. POBEL 292337AM	375.955,00	751.910,00
7	24 C120012	1	CILINDRO GRADUADO 25 ml CLASE "A" BASE HEXAGONAL POBEL 495007 VIDRIO BOROSILICATO	19.406,00	19.406,00
8	24 C120017	1	CILINDRO GRADUADO 50 ml CLASE "A" BASE HEXAGONAL POBEL 495008 VIDRIO BOROSILICATO	23.102,00	23.102,00
9	24 C120021	1	CILINDRO GRADUADO 100 ml CLASE "A" BASE HEXAGONAL POBEL 495009 VIDRIO BOROSILICATO	29.454,00	29.454,00
10	22 P120050	2	PIZETA DE POLIETILENO 500 ml FRASCO BOCA ANGOSTA Y TUBO DISPENSADOR LATERAL. AZLON	5.776,00	11.552,00
11	22 P180005	2	PROPIETA CON 3 VALVULAS ROJA. DIDACTA	16.801,00	33.602,00
12	22 L060015	1	LLAVE DE REPUESTO PARA BOTELLAS DE POLIPROPILENO AZLON BNP10A/20A REF.: AZLON SCBNP01	69.301,00	69.301,00
13	27 H020007	1	MEDIDOR DE pH, TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD, DE BOLSILLO, LECTURA DE LA TEMPERATURA EN PANTALLA LCD, RANGO 1-14 pH APRECIACION 0,01, Rango de temperatura: 0,0 a 60 °C, APRECIACION ± 0,1 °C Conductividad: EC: 0 a 3999 ± 1 µS/cm, TDS: 0 a 2000 ± 1 ppm HANNA HI 98129	577.501,00	577.501,00
14	21 F060006	1	FENOLFTALEINA p.a. 100 g R.D.H. 33518	59.427,00	59.427,00
15	21 A390015	1	ANARANJADO DE METILO 100 g R.D.H. 32624	84.001,00	84.001,00
Sub-Total Bs.					2.061.761,00

30.407,54



CIENCIA Y TECNOLOGIA
CAPITAL Bs. 200.000.000,00

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
RESID. EDISON, LOCAL P.B. - CARACAS
TEL.F. : 278.58.11 (Master)
FAX : 285.48.18 - 283.42.53 - 283.63.35
E-Mail : didactacotizac@intercable.net.ve
RIF: J-00011271-1 N.I.T. 0005054630

NUMERO : 88576
PAGINA : 2
Caracas 26/01/2006

C280A C.A.TELARES DE PALO GRANDE
Atn: SRA. YSABEL
Zona Industrial Ruiz Pineda - Caricuao
Entrega =

Tel 4033509

Dto. Capital

Rif J-00036157-6

Nit 00431607-0-2

REQUISICION S/N
ASESOR # 1
COND. PAGO Contado
TRANSPORTE DIDACTA
Permiso PTJ 1

Línea Código Cantidad

Descripción

P Unitario

*** TIEMPO DE ENTREGA INMEDIATO SALVO PREVIA VENTA O HASTA AGOTARSE
LA EXISTENCIA***
*** OFERTA VALIDA POR QUINCE (15) DIAS SIN COMPROMISO ***

DIDACTA C.A. A traves de su Division de Servicio Tecnico, Tel. 241-07-08 / 242-26-46 FAX. 242-54-91 garantiza los equipos descritos por un periodo de 6 meses contra defectos de Fabricacion, exceptuando piezas electricas, electrodos, partes móviles o de vidrio, o defectos producidos por mal uso.

Sub-Total:

2.01

Impuesto al Valor Agregado (I. V. A.): 14,00

21

Cotizado por: Ferley Chaparro



Total Bs.

2.31

Apéndice D. Cálculos tipo

1. Cálculos del intercambiador iónico ciclo sódico. Evaluación ^[AWWA, 2002]

Para la evaluación es necesario conocer la siguiente información:

- Dureza del agua cruda (Di).
- Caudal de agua que maneja cada equipo.
- Volumen de resina en cada equipo
- Volumen de agua alimentada a la columna antes del brote de dureza

La definición de la solución comprende:

- Determinar la capacidad de intercambio de la resina.

El cálculo tipo presentado corresponde al suavizador N° 3 (S-3) del esquema de la planta actual de cuatro suavizadores:

1.1. Datos experimentales de la planta:

- Dureza del agua cruda: 120 mg/l
- Volumen de resina: 2,38 m³
- Volumen de agua alimentada a la columna antes de la detección de dureza: 835 m³

1.2. Determinación de la capacidad de intercambio: la capacidad de intercambio de la resina actual se calcula de forma empírica, suponiendo de que el efluente de la resina contiene dureza nula.

Equivalente de dureza remocionada = equivalente de dureza acumulada en la resina

$$V_F C_{S-1} = CI V_R \quad (1)$$

Donde:

CI : capacidad de intercambio de la resina (Kgrano/pie³)

V_F : volumen de agua alimentada a la columna antes de la detección de dureza (m³)

C_{S-1} : concentración de dureza en el agua bruta, D_i , (mg/l de CaCO₃)

Así pues:

$$CI = \frac{V_F C_{S-1}}{V_R}$$

$$CI = \frac{835m^3 * 120 \frac{mg}{l} \left(\frac{1gnpg}{17,1mg/l} \right) * \left(\frac{1Kgn}{1000gn} \right) * \left(\frac{7,48gal}{1pie^3} \right)}{2,38m^3} = 18,4Kgn / pie^3$$

2. Cálculos del intercambiador iónico ciclo sódico. Diseño ^[AWWA, 2002]

Para el diseño es necesario conocer la siguiente información:

- Dureza del agua cruda (D_i).
- Caudal de agua a tratar.
- Calidad requerida en el agua tratada o dureza a entregar al proceso (D_o)
- Características de la resina a usar (capacidad de intercambio y requerimientos de regenerante).

La definición de la solución comprende:

- Seleccionar resina y nivel de regeneración usando la literatura técnica del fabricante.
- Calcular el bypass de agua permitido para tener un efluente del punto de mezcla en un valor de dureza requerido.

- Elegir el caudal de servicio.
- Calcular la duración del ciclo antes de la detección de la dureza y el volumen de agua tratada durante ese tiempo.
- Calcular el volumen de resina requerido.
- Dimensionar las columnas.

El cálculo tipo presentado corresponde al esquema de la planta actual de dos suavizadores: uno en servicio y el otro en periodo de regeneración, la información conocida del proceso y el diagrama de los equipos se presentan en la Figura N° 40.

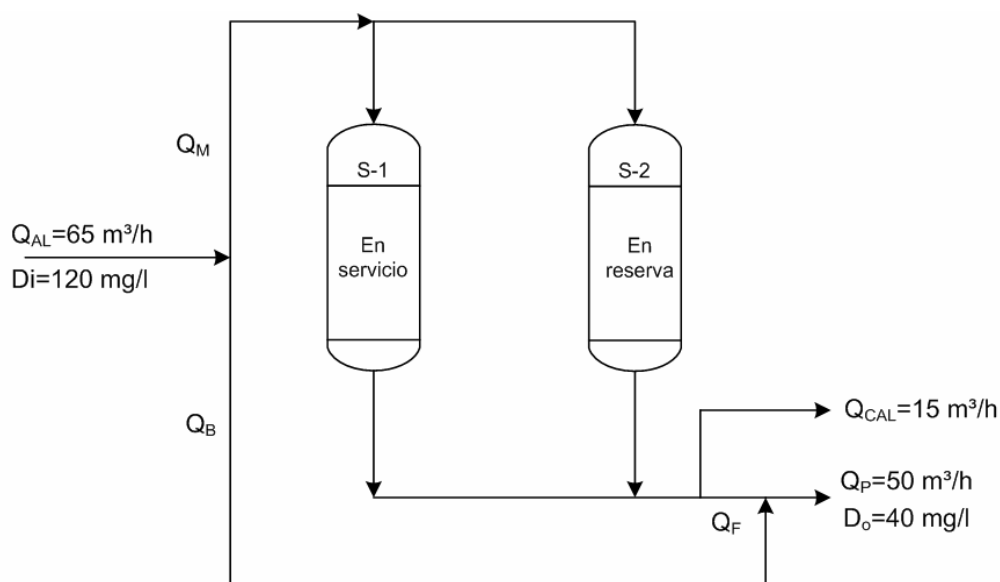


Figura N° 40. Corrientes del esquema de suavización. Tren de dos unidades

2.1. Selección de la resina y capacidad de la resina:

- Capacidad de intercambio: 43,7 Kgrano/pie³
- La resina comercial consume en regenerante entre 100 y 200 g/l, para el diseño se toma el caso más desfavorable: Consumo de regenerante: 200 g/l (5,7 Kg/pie³)

2.2. Cálculo del bypass de agua permitido: suponiendo que el agua que fluye de los suavizadores tiene dureza cero (se sabe que existe fuga de dureza, sin embargo usualmente es menor a 5 ppm). El caudal de bypass se calcula escribiendo un balance de dureza en el punto de mezcla, donde el efluente de la columna se mezcla con el agua filtrada.

Balance total

$$Q_B + Q_F = Q_P \quad (1)$$

Balance por componente

$$Q_B C_B + Q_F C_F = Q_P C_P \quad (2)$$

Donde:

Q_B : tasa de caudal del bypass (m^3/h)

Q_F : tasa de caudal efluente de los suavizadores, disponible para la mezcla (m^3/h)

Q_P : tasa de caudal de producto mezclada (m^3/h)

C_B : concentración de dureza en el agua bruta del bypass, D_i , (mg/l de $CaCO_3$)

C_F : concentración de dureza en el efluente de la columna, 0 (mg/l de $CaCO_3$)

C_P : concentración de dureza en el agua hacia el proceso, D_o , (mg/l de $CaCO_3$)

En el balance por componentes:

$$Q_B * 120 = Q_P * 40 - Q_F * 0$$

$$Q_B = \frac{1}{3} * 50 m^3 / h = 16,67 m^3 / h$$

Para definir el resto de las corrientes, se inicia con un balance en el punto de división de la alimentación:

$$Q_B + Q_M = Q_{AL} \quad (3)$$

Donde:

Q_{AL} : caudal alimentado a la planta de tratamiento (m^3/h)

Q_M : caudal alimentado al suavizador (m^3/h)

$$Q_M = 65m^3 / h - 16.67m^3 / h = 48.33m^3 / h$$

Del efluente del suavizador $15 m^3/h$ son enviados al tanque de agua blanda como servicio para la caldera y el resto es almacenada para el consumo industria. El caudal disponible para la mezcla y obtención del agua de proceso es entonces la diferencia entre el agua alimentada a la unidad y el destinado a la caldera.

$$Q_F = Q_M - Q_{CAL} \quad (4)$$

Donde:

Q_{CAL} : caudal enviado de servicio para la caldera (m^3/h)

$$Q_F = 48,33m^3 / h - 15m^3 / h = 33,33m^3 / h$$

2.3. Volumen de resina: el rango generalmente aceptable de tasa de flujo de servicio (SFR) o tasa de agotamiento para intercambio iónico es de 1 a 5 gal/min pie³. Generalmente se elige el valor 3 gpm/ pie³ y con él es posible calcular el volumen de resina.

$$SFR = \frac{1}{EBCT} = \frac{Q_M}{V_R} \quad (5)$$

Donde:

EBCT: tiempo de contacto de lecho vacío

V_R : volumen del lecho de resina incluyendo huecos

Despejando en (5)

$$V_R = \frac{Q_M}{SFR} = \frac{48,33 m^3 / h}{3 gpm / pie^3} * \left(\frac{1h}{60 min} \right) * \left(\frac{7,48 gal}{1 pie^3} \right) = 1,98 m^3$$

2.4. Cálculo de la duración del tratamiento: El tiempo de agotamiento para la aparición de dureza t_H se calcula de un balance de masa de dureza, suponiendo de nuevo que el efluente de la resina contiene dureza nula. Esto es:

Equivalente de dureza remocionada = equivalente de dureza acumulada en la resina

$$Q_M C_M t_H = V_F C_M = CIV_R \quad (6)$$

Donde:

CI : capacidad de intercambio de la resina (Kgrano/ pie^3)

V_F : volumen de agua alimentada a la columna durante el tiempo t_H

Así pues:

$$t_H = \frac{CIV_R}{Q_M C_M} \quad (7)$$

$$t_H = \frac{43,7 \frac{Kgrano}{pie^3} * 1,98 m^3}{48,33 \frac{m^3}{h} * 120 \frac{mg}{l} \left(\frac{1 gnp g}{17,1 mg / l} \right) * \left(\frac{1 Kgn}{1.000 gn} \right) * \left(\frac{7,48 gal}{1 pie^3} \right)} = 34,1 h$$

El tiempo t_H para un brote de dureza está relacionado con el volumen de agua tratada como muestra la ecuación (7):

$$V_F = Q_M t_H = 48,33 m^3 / h * 34,1 h = 1.649,8 m^3$$

2.5. Consumo de regenerante:

Por especificaciones del fabricante la resina el consumo de regenerante es de 5,7 Kg por pie³ de resina, para el volumen calculado se tiene que el consumo total es de:

$$Cons = 5,7Kg / pie^3 V_R = 5,7Kg / pie^3 * 1,98m^3 * \left(\frac{35,3 pie^3}{1m^3} \right) = 399Kg$$

Si la empresa compra la sal por sacos de 25 kg se consumen dieciséis (16) sacos de sal por cada regeneración.

2.6. Cálculo de las dimensiones de columna: la altura de la columna debe contener el volumen de expansión del 100% del lecho de resina durante el retrolavado. Heurísticamente se estima que el espacio encima del lecho de la resina y la tapa del equipo sea de 30% del volumen del lecho V_R . Por lo cual el volumen del equipo V_T se puede calcular como:

$$V_T = V_R + 0.3V_T \quad (9)$$

Donde:

V_T : diámetro del suavizador (m³)

$$V_T = 1,98m^3 + 0.3 * V_T = 2,8m^3$$

El diámetro D es:

$$D = \sqrt{\frac{4V_R}{\pi h}} \quad (10)$$

Donde:

D: diámetro del suavizador (m)

h: altura del lecho de resina (m)

Claramente es posible una gran variedad de profundidades del lecho y diámetros, es por ello que el diseñador debe verificar antes los tamaños para las unidades de ablandamiento existentes en el mercado según los fabricantes. Generalmente esta relación es de 1:1

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 1,98m^3}{\pi}} = 1,4m$$

Finalmente la altura del equipo queda definida como sigue:

$$L = \frac{V_T * 4}{\pi * D^2} \quad (11)$$

Donde:

L: altura del suavizador (m)

$$L = \frac{2,8m * 4}{\pi * (1,4m)^2} = 1,9m$$

Los cálculos del diseño del tren de suavización de tres unidades sigue el esquema antes presentado, cumpliendo igualmente con los criterios de espacio libre y relación diámetro- altura del lecho igual a 1.

3.- Valor presente de la inversión total. Tren de 2 suavizadores

Para el análisis de las propuestas es necesario conocer la siguiente información:

- Tasa o tasa de interés por periodo de capitalización (10,13%)
- Número de periodos de capitalización o periodo de estudio (5 años)

- Flujo efectivo futuro (ganancias percibidas)
- Valor de la inversión inicial

Para el cálculo tipo se evaluará el sistema de 2 suavizadores, de las cotizaciones del equipo y los materiales y reactivos para el laboratorio se tiene los valores de inversión inicial.

Equipos suavizadores: 66.041.066 Bs.

Mano de obra de instalación: 4.560.000 Bs.

Laboratorio de aguas: 2.350.407 Bs.

Inversión inicial: $66.041.066 + 4.560.000 + 2.350.407 = 72.951.473$ Bs.

Para el cálculo del flujo efectivo se suman las ganancias percibidas por la sustitución del nuevo sistema de suavización.

Por producción de segunda: Se sabe que el número de unidades defectuosas para el 2005 adjudicadas a la calidad del agua son 6.110 unidades. Si se conoce el precio al cual se venden de primera calidad y de segunda calidad, la diferencia entre ambos valores representa la ganancia generada por el nuevo sistema.

El valor de las unidades de primera calidad es:

$6110 \text{ Unidades} * 7800 \text{ Bs.} = 47.658.000 \text{ _Bs.}$

El valor de las unidades de segunda calidad es:

$6110 \text{ Unidades} * 7800 \text{ Bs.} * 0,85 = 40.509.300 \text{ _Bs.}$

Ganancia por segunda: $47.658.000 - 40.509.300 = 7.148.700$ Bs.

Por reproceso: Se sabe que anualmente se gasta en reproceso 33.000.000 Bs. de los cuales el 30% se adjudica a la calidad del agua.

Ganancia por reproceso: $33.000.000 * 0,30 = 9.900.000$ Bs.

Por regenerante: Se sabe que actualmente existe un consumo de sal anual de 110.100 Kg. Si cada saco de sal tiene 25 Kg y cuesta 7500 Bs.

Valor del consumo de sal actual:

$$(110.100\text{Kg}/25\text{Kg}) * 7500\text{Bs.} = 33.030.000 \text{ _Bs.}$$

Valor del consumo de sal con el nuevo sistema:

$$(48.400\text{Kg}/25\text{Kg}) * 7500\text{Bs.} = 14.520.000 \text{ _Bs.}$$

Ganancia por regenerante: $33.030.000 - 14.520.000 = 18.510.000$ Bs.

El flujo efectivo representa la suma de todas las ganancias generadas:

$$7.148.700 + 9.900.000 + 18.510.000 = 35.558.700 \text{ Bs.}$$

El flujo efectivo el último año tiene involucrado el valor de salvamento de los activos depreciables, en este caso se deprecian los equipos suavizadores asumiendo que a los 5 años los activos disminuyen su valor a la mitad:

$$\text{VS: } 66.041.066 \text{ Bs} * 0,5 = 33.020.533 \text{ Bs.}$$

$$VP(i) = \sum_{K=0}^N F_K (1+i)^{-K} \quad (1)$$

Donde:

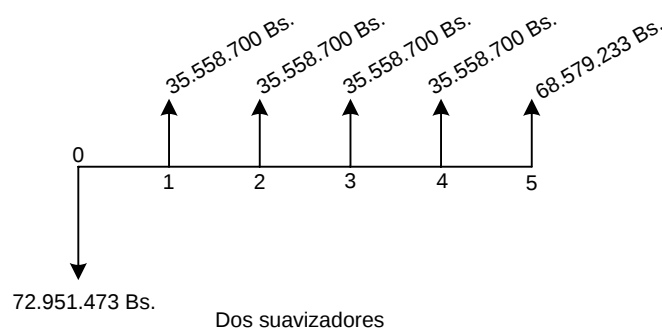
VP: Valor presente de la inversión

K: índice para cada periodo de capitalización $0 < K < N$

F_k : flujo de efectivo futuro al final del periodo

N: número de periodos de capitalización

i: tasa de interés o Trema por periodo de capitalización



$$VP = -72.951.473 + \frac{35.558.700}{(1+0,1013)} + \frac{35.558.700}{(1+0,1013)^2} + \frac{35.558.700}{(1+0,1013)^3} + \frac{35.558.700}{(1+0,1013)^4} + \frac{(33.020.533 + 35.558.700)}{(1+0,1013)^5} = 81.779.930 \text{ _Bs.}$$

$$VP = 81.779.930 \text{ _Bs.}$$

Recuperación de la inversión: Calculando el flujo de caja acumulado se puede percibir al año

$$1^{\text{er}} \text{ año: } -72.951.473 + 35.558.700 = -37.392.773 \text{ Bs.}$$

$$2^{\text{do}} \text{ año: } -37.392.773 + 35.558.700 = -1.834.073 \text{ Bs.}$$

$$3^{\text{er}} \text{ año: } -1.834.073 + 35.558.700 = 33.724.627 \text{ Bs.}$$

$$4^{\text{to}} \text{ año: } 33.724.627 + 35.558.700 = 69.283.327 \text{ Bs.}$$

$$5^{\text{to}} \text{ año: } 69.283.327 + 35.558.700 = 104.842.027 \text{ Bs.}$$

La inversión se recupera entre el periodo 2 y 3.

4. Ganancia total del proyecto

Al valor presente de la inversión del sistema de suavización se añade el ahorro generado por la reformulación de secuestrante.

Por secuestrante: El consumo anual de Detercar es de 15.000 Kg con un costo de 8.026 Bs/Kg, Si la reducción de secuestrante es de 50% se tiene:

Costo por secuestrante anual: 15.000 Kg/año*8.026 Bs/Kg = 120.390.000 Bs/año

Ahorro por secuestrante anual: $\frac{120.390.000}{2} = 60.195.000 \text{Bs./año}$

Para calcular las ganancias generadas para el periodo de capitalización de 5 años se tiene:

$$VP = \frac{A * ((1 + i)^n - 1)}{i * (1 + i)^n} \quad (2)$$

Donde:

VP: valor presente por reformulación

A: ganancia anual

$$VP = \frac{60.195.000 * ((1 + 0,1013)^5 - 1)}{0,1013 * (1 + 0,1013)^5} = 227.430.606 \text{Bs.}$$

La ganancia total generada por el proyecto corresponde a la suma del valor presente de la inversión del sistema de suavización y el valor presente del ahorro del secuestrante:

$$VP_{\text{Total}} = VP_{\text{Inversión}} + VP_{\text{Reformulación}} = 81.779.930. + 227.430.606 = \mathbf{309.210.536 \text{ Bs.}}$$