

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad Química-Farmacia

Departamento de Ingeniería Química



Trabajo de diploma

Propuesta de medidas de producciones más limpias
en el teñido del tejido poliéster-algodón

Autora: Mercedes Arbona Cabrera

Tutores: Dra C. Elena Rosa Domínguez

Dra C. Isabel Cabrera Estrada

Ing. Isael Curbelo Tápanes

Consultante: Ing. Félix Pérez Castellanos

Curso: 2016-2017

Dedicatoria

A Dios, a mis padres, a mi abuela, a mi hermano, a mi sobrino Marcos David y a todos mis familiares y amigos que comparten conmigo este triunfo.

Agradecimientos

A Dios por darme vida, sabiduría y salud.

A mis padres por guiarme y estar conmigo en todo momento.

A mi abuela por apoyarme.

A mi hermano y a Yailín, Hildita y Miguel Ángel.

A mis primos Oscarito, Madelin y Yeslin por su ayuda y a todos mis familiares.

A mis tutores Dra C. Elena Rosa Domínguez, Ingeniero Isael Curbelo Tápanes e Ingeniero Félix Pérez Castellanos por sus enseñanzas y asesorías en la realización de este trabajo.

A Mayda López Portal por su valiosa colaboración, así como a Beatriz, Mercedes, demás trabajadores del laboratorio de acabado, agradezco a María de los Ángeles, Osmany, Geissy y Yuliet, Felipe, Tomás, Armando y las compañeras del laboratorio de residuales y en general a todos los trabajadores de la TEXVI.

A todos los profesores y técnicos del departamento de Ingeniería Química, en especial a Nancy y a Julio.

A Beatriz, Raquel, Claudia y Cynthia, por todos estos años colaborar conmigo cuando lo necesité.

Resumen

El presente trabajo se desarrolló en la sección de teñido de la UB "Desembarco del Granma". El teñido tiene la finalidad de lograr la coloración uniforme de las fibras que constituyen el material textil, usualmente para coincidir con un color previamente especificado. Dicho proceso involucra una gran cantidad de productos químicos y otros recursos cuyo impacto sobre el medio ambiente no había sido totalmente identificado. El objetivo de la investigación fue proponer medidas de producciones más limpias en el teñido del tejido poliéster- algodón.

Se aplicó la metodología del Análisis de Ciclo de Vida y el programa Sima Pro 8.0, con el cual se cuantificó el impacto sobre el medio ambiente de productos químicos y otros recursos empleados en el proceso de teñido.

El Análisis de Ciclo de Vida constituyó una herramienta útil para la definición de prioridades y diseño de procesos y productos, selección y evaluación de indicadores ambientales relevantes de rendimiento en el proceso textil. Al aplicar la metodología RECIPE se determinó que, en la categoría de daños, los recursos resultaron los más impactados por el proceso de teñido, donde el consumo de combustible fósil y el agua tienen un papel primordial.

Se realizaron los procesos de igualación de color con el empleo del equipo color matching. Las recetas obtenidas cuando se le añade carbonato de sodio a los colorantes dispersos resultaron igualadas con más facilidad que las que no tenían el carbonato de sodio presente en el momento de igualar el disperso. Al realizar el teñido a escala industrial con las recetas optimizadas se ahorraron \$ 224,85 al evitarse cinco correcciones industriales.

Para disminuir del impacto ambiental de la quema de combustible fósil se propuso el empleo del aditivo ADI3TEK. Pudieran ahorrarse 117,51 \$/ año si se reponen los aislamientos que se encuentran en mal estado.

La ejecución de la metodología RECIPE permitió corroborar los beneficios obtenidos al aplicar las recetas optimizadas para el teñido del tejido poliéster- algodón en un baño.

Abstract

The present work was developed in the staining section of the UB "Desembarco del Granma". The dyeing has the purpose of achieving the uniform coloration of the fibers constituting the textile material, usually to coincide with a previously specified color. This process involves a large number of chemicals and other resources whose impact on the environment has not been fully identified. The objective of the research was to propose measures of cleaner productions in the dyeing of polyester-cotton fabric.

The methodology of the Life Cycle Analysis and the Sima Pro 8.0 program were applied, which quantified the impact on the environment of chemical products and other resources used in the dyeing process.

The Life Cycle Analysis was a useful tool for the definition of priorities and design of processes and products, selection and evaluation of relevant environmental performance indicators in the textile process. In applying the RECIPE methodology, it was determined that, in the category of damages, the resources were the most impacted by the dyeing process, where fossil fuel consumption and water have a primordial role.

Color matching processes were performed using color matching equipment. The recipes obtained when sodium carbonate was added to the dispersed dyes were more easily matched than those without the sodium carbonate present at the time of equalizing the dispersed. Dyeing on an industrial scale with the optimized recipes saved \$ 224,85 by avoiding five industrial corrections.

To reduce the environmental impact of the burning of fossil fuel, the ADI3TEK additive was proposed. They could save \$ 117,51 / year if the insulation is recovered that are in bad condition.

The implementation of the RECIPE methodology allowed corroborating the benefits obtained by applying the recipes optimized for the dyeing of the polyester-cotton fabric in a bath.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo I Revisión Bibliográfica	4
1.1 La industria textil y el proceso de teñido.....	4
1.1.1 Métodos utilizados para el teñido de los tejidos de mezclas de PE-CO en la UB Desembarco del Granma	7
1.1.2 Defectos producidos en la tintura	8
1.2 El color. Medición e igualación del color.....	9
1.2.1 Dimensiones del color:	10
1.3 Los colorantes.....	11
1.4 Aspectos ambientales propios de la fabricación de textiles	14
1.4.1 El agua como recurso en la industria textil	14
1.4.2 Las emisiones en el sector textil	16
1.5 Análisis del ciclo de vida.....	18
1.5.1 Ventajas y desventajas del Análisis del Ciclo de Vida	19
1.5.2 Metodología de evaluación	20
1.6 Producciones más Limpias	20
1.6.1 Selección y uso de sustancias químicas	21
Conclusiones parciales	23
Capítulo 2 Estudio del impacto ambiental del teñido del tejido poliéster- algodón.....	24
2.1 Caracterización de la línea de teñido poliéster- algodón en la UB “Desembarco del Granma”.....	24
2.2 Consumos de agua	25
2.3 Caracterización de las aguas residuales	26
2.4 Emisión de contaminantes de la entidad.....	26
2.5 Inventarios del proceso actual de teñido	28
2.6 Evaluación del impacto ambiental del teñido del tejido poliéster-algodón	29
Conclusiones Parciales	34
Capítulo 3 Medidas de Producción más Limpia.....	36
3.1 Optimización del proceso de teñido en un baño del tejido poliéster-algodón con el empleo del Color Matching mediante estudios experimentales a nivel de laboratorio.....	36
3.1.1 Obtención de la receta a nivel de laboratorio para el color 2-922-3	36

3.1.2 Obtención de la receta a nivel de laboratorio para el color 2-804-3	38
3.2 Validación de las recetas obtenidas a nivel industrial	39
3.2.1 Análisis de los resultados obtenidos cuando se implementaron las recetas a nivel industrial.....	39
3.3 Disminución del impacto ambiental de la quema de combustible fósil	40
3.3.1 Empleo del aditivo anticorrosivo Adi3tek.....	40
3.3.2 Aislamiento de las tuberías conductoras de vapor	44
3.4. Inventarios del proceso después de optimizar la receta de teñido.....	45
3.5 Comparación del impacto ambiental del proceso de teñido antes y después de optimizar la receta	46
3.6 Impacto económico de las medidas de producción más limpia	50
Conclusiones parciales	51
Conclusiones.....	52
Recomendaciones	53
Bibliografía	54
Anexos	

Introducción

La industria textil constituye una importante fuente de ingresos y empleo para muchos países. Esta industria en el año 2001 representó el 2,5 % del comercio mundial y el 3,3% del comercio mundial de manufacturas. La región en que tiene mayor relevancia es en Asia, cuyas exportaciones textiles representan el 4,3% de las exportaciones totales de mercancías. Las regiones que más importaciones textiles reciben son África y Europa Oriental (Angulo, 2008).

En Cuba existen varias textileras como la Celia Sánchez Manduley, ubicada en Santiago de Cuba que posee plantas de Hilandería, Tejeduría, de Acabado y Estampados. En Alquizar se encuentra la textilera Rubén Martínez Villena y en Matanzas la EddioTeijeiro (Bellotex) productora de hilazas y tejidos. En Gibara, provincia de Holguín existe la Hilandería "Inejiro Asanuma" y en Santiago de las Vegas se encuentra la de Wajay.

En la provincia de Villa Clara, municipio Santa Clara, carretera a Camajuaní Km 2½; se encuentra la Unidad Básica Textil "Desembarco del Granma", subordinada a la Empresa Textil, Grupo Empresarial de la Ligera y perteneciente al Ministerio de Industria, que cuenta con un proceso productivo muy complejo, ya que abarca todos los procesos de la rama textil, desde el diseño, hasta el acabado final de los tejidos e hilos, un proceso de hilado de fibra de poliéster de alta tenacidad, además tiene una planta de Servicios de Ingeniería. Tiene el encargo social de cubrir la demanda de la región central, la cual no es posible suplir por las demás plantas existentes.

La UB "Desembarco del Granma" presenta como misión satisfacer competitivamente a los clientes en sus necesidades de hilos de coser, tejidos planos y gasa quirúrgica con una producción de alta calidad para vestuarios y otros usos, que posibiliten cumplir las demandas y el encargo estatal. La visión de la empresa se caracteriza por su actualización en las tendencias de la moda y el servicio pleno al cliente nacional y extranjero, garantizando un aporte considerable de divisas al estado y el cumplimiento del encargo estatal, con un buen margen de utilidades destinadas al desarrollo de nuevas inversiones y al mejoramiento de la calidad de vida del personal.

El procesamiento textil comprende dos fases: tejido y acabado. La transformación de la fibra cruda en tejido no acabado o en hilos, es esencialmente una operación en seco, siendo el proceso de acabado el responsable de los desechos líquidos y residuos peligrosos textiles.

Los procesos químicos de acabado textil incluyen todas aquellas operaciones en las que el tejido poliéster-algodón se somete a un tratamiento químico con la finalidad de que mejoren su aspecto, mejoren su comportamiento al uso o que su cuidado sea más fácil. A diferencia de las impurezas, los compuestos químicos que se emplean en el proceso de acabado son

susceptibles a reducción o sustitución. Estos compuestos también pueden aprovecharse mejor perfeccionando los métodos de operación y reduciendo las pérdidas de insumos y caudales ocasionados por accidentes durante trabajos auxiliares no controlados, como el lavado de equipos, almacenamiento, entre otros.

El teñido de la tela es una de las fases más complejas del proceso productivo pues en ella intervienen una gran diversidad de colorantes y agentes auxiliares de teñido. Una mala operación de acabado se traduce en un aumento de la producción de textiles de menor calidad comercial, gasto innecesario de productos químicos y reproceso de cargas con los consecuentes gastos energéticos, de tiempo, mano de obra y recursos empleados en su realización.

Es esta etapa del proceso debe analizarse la propuesta de medidas que permitan un mejor desempeño tecnológico, económico y ambiental de la instalación. Lo anterior se logra con una estrategia de producción más limpia

El Análisis de Ciclo de Vida permitirá cuantificar el impacto medioambiental del proceso de teñido del tejido poliéster-algodón y evaluar cómo las medidas que se proponen disminuyen la repercusión del proceso en diferentes categorías de impacto.

Desde el punto de vista técnico-económico las medidas de producción más limpias posibilitarán un ahorro de materiales y de portadores energéticos; con la igualación de color empleando el equipo color matching para el teñido en un baño se disminuyen los reprocesos de lotes de tejido, lo que representa un considerable ahorro de materiales.

Objeto de estudio

En el presente trabajo se estudiará el ciclo de vida del tejido poliéster- algodón en el proceso de teñido de la UB “Desembarco del Granma”.

Problema científico

El proceso de teñido involucra una gran cantidad de productos químicos y otros recursos cuyo impacto sobre el medio ambiente no ha sido totalmente identificado. Existe un consumo adicional de colorantes por no optimizarse las recetas de teñido para el proceso en un baño y ocurren pérdidas de recursos materiales y energéticos debido a los reprocesos de lotes de tejido.

Hipótesis

Si se identifican las afectaciones que provocan productos químicos y otros recursos sobre el medio ambiente mediante la realización del Análisis del Ciclo de Vida, se proponen medidas de producciones más limpias y se optimizan las recetas de teñido con el empleo del Color

Matching se obtendrá un tejido con la calidad requerida a través de un proceso más factible desde el punto de vista ambiental.

Objetivo general

Proponer medidas de producciones más limpias en el teñido del tejido poliéster- algodón.

Objetivos específicos

1. Determinar cómo se proponen medidas de producciones más limpias, a partir del Análisis de Ciclo de Vida, mediante una revisión bibliográfica.
2. Realizar un Análisis de Ciclo de Vida del proceso de teñido del tejido poliéster- algodón teniendo en cuenta las corrientes que intervienen en la sección de teñido con el empleo de los balances de masa y energía.
3. Determinar los impactos que provocan las emisiones de gases, consumos de agua y energía con ayuda del programa Sima pro 8.0.
4. Optimizar el proceso de teñido en un baño del tejido poliéster-algodón con el empleo del Color Matching mediante estudios experimentales a nivel de laboratorio.
5. Aplicar las recetas obtenidas a escala industrial y proponer medidas de producciones más limpias a partir de los resultados obtenidos en el Análisis de Ciclo de Vida.
6. Evaluar la factibilidad técnico-económica y ambiental de las medidas propuestas

La metodología a utilizar consistirá en llevar a cabo un Análisis de Ciclo de Vida para el teñido del tejido poliéster- algodón, con el empleo del programa Sima pro 8.0. Se empleará un método investigativo de recopilación y síntesis de información sobre el proceso de igualación de color y teñido de materiales textiles, así como métodos experimentales para determinar composición de la receta de teñido en un baño para el tejido poliéster algodón y para caracterizar corrientes del proceso. Además se hará uso del Color Matching para lograr la igualación de color a nivel de laboratorio y su consecuente aplicación industrial para satisfacer la demanda existente. Posteriormente se realizará un análisis y evaluación económica de las medidas de producción más limpias que se propongan para el proceso estudiado.

En Cuba no se ha hecho extensiva la aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida a procesos textiles por lo que esta investigación aportará nuevos elementos en función de lograr un desarrollo más sostenible en la rama textil.

Al finalizar esta investigación se logrará la obtención (en un baño) de un tejido poliéster- algodón con un teñido uniforme, cuyo proceso de elaboración genere menos impactos negativos sobre el medio ambiente y se logren beneficios económicos por concepto de ahorro de materiales y energía.

Capítulo I Revisión Bibliográfica

1.1 La industria textil y el proceso de teñido

En Cuba existe una limitada producción de hilados y tejidos en general, cuyo nivel está muy por debajo de la producción alcanzada en el país en 1989. Sin embargo, hay una cierta fabricación de hilados y tejidos de algodón que, en todo caso, no cubre todas las necesidades y demanda nacional de hilados y tejidos para confecciones.

Eso hace que se tenga que recurrir a la importación de los productos que se necesitan para la economía nacional. En el 2014, el valor total de las importaciones de los productos de tejidos e hilaza de algodón, ascendió casi a 50 millones de euros, habiendo alcanzado en 2012 los 62 millones de euros (Gómez, 2016).

Los tejidos poliéster-algodón (PE-CO) crudo y algodón (CO) constituyen materias primas para la planta de acabado de la Unidad Básica (UB) “Desembarco del Granma”, a la cual ingresan procedente de la Planta de Tejeduría de la propia UB (alrededor un 5 %), o de Corea del Sur y de la República Popular China (el 95 % restante). El hecho de contar con diferentes proveedores implica variabilidad en los resultados obtenidos por los tratamientos aplicados en las mismas condiciones.

El término fibras textiles es utilizado cuando las fibras tienen un uso comercial dentro de lo que es la industria textil, es decir, que se pueden hilar o utilizar para fabricar telas; el más común es el tejido, de este existen dos tipos: el tejido plano y el tejido de punto (Kroschwitz, 1990). Es deseable que las fibras sean fáciles de teñir, a temperaturas no muy elevadas, presenten buena solidez del color a diversos agentes que no sean tóxicos (Alonso, 2015).

Las fibras de algodón proceden de la semilla del algodónero (*Gossypium*), del género de las malváceas. Los diferentes tipos de algodón cultivados son el *Gossypium hirsutum* (87%) o algodón americano, *Gossypium barbadense* (8%) o algodón egipcio y el *Gossypium herbaceum* (5%). El algodón es una fibra natural celulósica que contiene también otras sustancias naturales localizadas principalmente en la pared primaria. Las fibras de poliéster se pueden definir como aquellas fibras que están compuestas de un polímero de macromoléculas cuya cadena contiene un mínimo del 85% en peso de un éster de un diol y del ácido tereftálico (Arriaga, 2005). La fibra de poliéster de mayor importancia comercial es la obtenida a partir del poli etilentereftalato (PET). También se fabrican fibras a partir del polímero que se obtiene por condensación del ácido tereftálico y del 1,4 dimetilolciclohexano (PCHDT) y del polibutilentereftalato (PBT). Se trata de una fibra de amplia difusión comercial con una gran variedad de aplicaciones. Tienen buen comportamiento al termofijado, texturizado, muy adecuadas para su mezcla con algodón, apropiadas para mezclas con viscosa y lana, buena

resistencia a la luz y al uso, muy resistentes a los ácidos y a los oxidantes, muy destacable para aplicaciones técnicas, costo bajo. Como propiedades menos favorables se tienen: moderada recuperación elástica, necesidad de teñirlas en condiciones especiales, carácter oleofílico (incrementa la tendencia a ensuciarse por grasas). Las fibras sintéticas tienen una estructura compacta y no son propensas a hincharse. Esto obstaculiza la penetración de los colorantes, por lo cual es necesario utilizar sustancias llamadas aceleradores.

El surtido de los tejidos es extraordinariamente variado: tejidos preparados de una fibra (lino, algodón, lana) llamados homogéneos y los tejidos que contienen fibras de varios tipos (por ejemplo algodón con viscosa) llamados heterogéneos (Kochkin, 1981).

En la actualidad es posible encontrar todas las construcciones básicas de telas con mezclas de fibras. No existe una fibra perfecta; todas tienen características buenas, regulares y deficientes. La mezcla permite al técnico textil combinar las fibras de manera que las buenas cualidades se enfatizan y las deficientes se minimicen. Las mezclas se hacen por varias razones; las fundamentales son: obtener efectos de teñido cruzado o crear nuevos efectos de color, como el jaspeado, cuando se mezclan fibras de distinta afinidad por los tintes y después se tiñe toda la pieza, para mejorar la hilatura, el tejido y la eficiencia de los acabados, obteniendo uniformidad en el producto, como se hace con las mezclas de fibras naturales en las que se mejora la uniformidad, para obtener mejor textura, tacto o aspecto de la tela (por ejemplo puede emplearse una pequeña cantidad de rayón para dar lustre y suavidad a una tela de algodón), por razones económicas (las fibras costosas se mezclan con otras más económicas o abundantes, en ocasiones da lugar a publicidad engañosa y fraude; ya que la fibra valiosa se mezcla en pequeñas cantidades pero se anuncia en un tipo de letra grande, por ejemplo CASHMERE y lana), para producir telas que tengan una mejor funcionalidad o idoneidad al uso, esta es quizá la razón más importante para el mezclado. En los usos finales en que la durabilidad es muy importante, se mezclan poliamida (nylon) o poliéster con algodón o lana para dar resistencia a la abrasión, fácil planchado y a la vez se mantienen propiedades del algodón o la lana y su apariencia física. Los fabricantes tienen bien controlados los niveles de mezclado, así Dupont recomienda una mezcla del 65% de poliéster Dacrón y 35% de algodón en las telas ligeras o de peso medio o 50% poliéster con 50% algodón para telas de traje. El comportamiento tintóreo de las materias colorantes para fibras viene determinado por una serie de parámetros físico-químicos, entre los que se pueden destacar su solubilidad en medio acuoso, la velocidad y equilibrio de tinción y la forma de fijación sobre las fibras (Alonso, 2015).

La industria de colorantes está muy relacionada con la industria textil de manera que un incremento en la producción de fibras requerirá mayor producción de colorantes, aunque no en la misma proporción (PIÑA, 2007).

El objetivo del teñido es la coloración uniforme de las fibras que constituyen el material textil, usualmente para coincidir con un color previamente especificado.

El teñido es un proceso físico-químico que consiste en la absorción de las partículas colorantes por el material fibroso y está compuesto por las siguientes fases: impregnación del tejido con la solución o dispersión del colorante, adsorción del colorante (difusión del colorante por toda la superficie de la fibra), difusión del colorante desde la superficie exterior de la fibra hacia el interior, fijación del colorante, eliminación del colorante no fijado mediante el lavado.

El teñido puede realizarse mediante un proceso de agotamiento por lote o un proceso de impregnación continua y fijación (González, 2016).

En la técnica de agotamiento, todos los productos textiles están en contacto continuo con el baño de tintura durante el teñido y las fibras absorben gradualmente los colorantes. Un control cuidadoso de la temperatura de teñido, pH y la concentración de químicos auxiliares es con frecuencia necesario para obtener buena penetración de la tintura. Esto es esencial, si el colorante absorbido inicialmente no es capaz de migrar desde áreas fuertemente teñidas a áreas pobremente teñidas durante el proceso.

En el método de impregnación continua, la tela pasa a través de un pequeño baño que contiene la solución colorante y luego por rodillos cubiertos de goma para exprimir el exceso de solución. No existe migración del colorante desde el punto de impregnación. Cada pequeño segmento de la tela encuentra el baño de tintura sólo una vez, por lo tanto la impregnación debe ser uniforme a todo lo ancho y largo de la tela. Luego de este proceso, se lleva a cabo el paso de fijación donde los colorantes difunden hacia las fibras. Éste puede ser tan simple como enrollar la tela y procesarla por lotes durante varias horas, o tan complejo como un rápido tratamiento térmico en un vaporizador u horno de aire caliente (Broadbent, 2001).

Previo a efectuar un proceso de tintura se debe analizar la máquina de teñir que se dispone. Se examina la acción que cada uno de sus órganos ejerce para cumplir el proceso que tiene lugar en ella; por otra parte, se puede realizar el análisis desde el punto de vista económico y se evalúan fundamentalmente los consumos, la producción que se obtiene y en términos generales, su rentabilidad. Los tres principales factores que intervienen en el proceso de tintura son: las fibras, los colorantes y el medio dentro del cual los dos se ponen en contacto.

En el método de tintura por agotamiento las fuerzas de afinidad entre colorante y fibra hacen que el colorante pase del baño a la fibra hasta saturarla y quedar fijada en él. La relación de peso entre peso de fibra y peso de solución de colorante es elevada, de 1/5 a 1/30.

En el método de impregnación continua el material textil que se impregna de la solución donde está el colorante, lo hace sin que en ese momento quede todavía fijado en él; es después, en el proceso de fijado, cuando la tintura es definitiva. Utilizando el procedimiento de impregnación la relación de baño es mucho más baja, entre 1,2 y 0,6 litros de solución por kg de fibra. (Salvo Bianco, 2009). Es aplicable a grandes producciones, que se procesan con una gran economía de costos, especialmente de mano de obra. Los equipos utilizados son costosos y requieren en general una gran disponibilidad de espacio. Pueden tener dos variantes principales:

- A la semicontinua (Pad Batch): El tejido es impregnado en la solución colorante, exprimido en foulard y luego permanece en reposo a temperatura ambiente durante un tiempo determinado para que se lleve a cabo la reacción química entre el sustrato y el colorante, después se pasa a un proceso de lavado continuo y el tejido sale teñido.

- A la continua (Pad Dry): La tela pasa continuamente por un baño donde se impregna con el color, se realiza la etapa de fijación del mismo, se seca y finalmente se recoge en rollos la tela terminada.

En la tintura continua y semicontinua, el consumo de agua es menor que en los procesos de tintura discontinua, pero el vertido de licores de tinte residuales altamente concentrados puede acarrear una mayor carga contaminante si se procesa el material en pequeñas series (la DQO imputable a los tintes puede ser del orden de 2-200 g/L). La técnica de foulardado sigue siendo la más utilizada. La cantidad de licor que contiene el foulard puede ser de 10 a 15 litros en los diseños modernos y hasta de 100 litros en los convencionales. La cantidad residual en el tanque de preparación puede llegar a los 150-200 litros, si bien puede reducirse a tan sólo unos litros en condiciones de control optimizado. La cantidad total de licor residual aumenta con el número de lotes diarios.

1.1.1 Métodos utilizados para el teñido de los tejidos de mezclas de PE-CO en la UB Desembarco del Granma

1. Teñido unifibra para PE: impregnado-secado-termosolado-lavado-secado (colorantes dispersos).
2. Teñido unifibra para CO: impregnado-secado-vaporizado-oxidación-lavado-secado (colorantes tina).
3. Teñido unifibra para CO: impregnado-secado-termofijado o vaporizado-lavado-secado (colorantes reactivos).

4. Teñido en un solo baño de tejidos de PE-CO: Impregnado-secado-termosol-lavado-secado (Colorantes dispersos-reactivos).
5. Teñido en un solo baño de PE-CO: impregnado-secado-termosol-vaporizado alcalino-lavado-secado (colorantes dispersos-reactivos).
6. Teñido en un solo baño de tejidos de PE-CO: impregnado-secado-termosolado-vaporizado-oxidación-lavado-secado (colorantes dispersos-tinas y premezclados) (TEXVI, 2015b)

El sistema de teñido es un proceso continuo en el que una tela abierta a lo ancho, se impregna de colorante (en el foulard) y posteriormente ese colorante es fijado por medio de vapor. Este sistema es muy usado en el proceso de telas de colores claros, pálidos y medianos. Un sistema continuo de rodillos con vapor se encarga de difundir de manera pareja varios tipos de colorantes como reactivos en telas de fibras celulósicas en una permanente atmósfera saturada de calor y humedad, creada por la continua inyección de vapor. El proceso de fijación del color tiene como objetivo permitir que el tejido, procedente del presecado absorba el colorante impregnado en el foulard y con ello fijar el color, ya que posterior al presecado el colorante llega un poco superficial y se puede quitar con facilidad. En esta operación, el colorante, a medida que es absorbido se difunde en tiempos muy cortos hacia el centro del tejido. La etapa de calentamiento puede efectuarse de varias maneras, pero la realizada por contacto directo de la fibra con el agente térmico y por vapor saturado son los más utilizados.

1.1.2 Defectos producidos en la tintura

Es importante tener una elevada reproducibilidad de colores, en su igualación, cuando se lleva a cabo un proceso de tintura. No solo es necesario el conocimiento, sino que también lo es el uso adecuado de la actual tecnología de tintura existente en el mercado.

Debe tenerse en cuenta: la maquinaria de tintura, materias colorantes, productos auxiliares, procesos optimizados, capacitación del equipo humano, colaboraciones con empresas del sector textil.

Los tipos de defectos pueden ser: procedentes de la materia textil, resultado de una preparación inadecuada, debidos al agua y al vapor utilizados, consecuencia de la maquinaria de tintura, resultado de una deficiente aplicación de productos y/o procesos, procedentes de errores humanos (Solé, 2015).

Entre los defectos de tintura procedentes de una deficiente aplicación de productos y/o procesos se encuentra la inadecuada selección de colorantes (ejemplo uso de colorantes no compatibles, es decir con cinéticas de tintura muy diferenciadas, lo cual provocará dificultad en la reproducción).

La tinción, al tratarse de un proceso químico, depende fuertemente de las condiciones de contorno, y no es fácilmente reproducible, por eso frecuentemente es necesario realizar una batería de pruebas con diferentes concentraciones de colorante, antes de conseguir el color que se desea (Chorro, 2013).

1.2 El color. Medición e igualación del color

El color es un atributo que se percibe de los objetos cuando hay luz, la que está constituida por ondas electromagnéticas que se propagan a unos 300000 kilómetros por segundo. Esto significa que los ojos reaccionan a la incidencia de la energía y no a la materia en sí. Las ondas forman, según su longitud de onda, distintos tipos de luz, como infrarroja, visible, ultravioleta o blanca. Las ondas visibles son aquellas cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y 700 nanómetros. Los objetos devuelven la luz que no absorben hacia su entorno. El campo visual humano interpreta estas radiaciones electromagnéticas que el entorno emite o refleja, como la palabra "color" (Cortés, 2009).

El color es una consecuencia de varios factores que actúan simultáneamente: el ojo humano, el objeto observado por este y una fuente de luz que ilumina el objeto. La ausencia de uno de esos factores impide la percepción del color. Se dice que la percepción del color es subjetiva, ya que se produce mediante el estímulo luminoso, proveniente del objeto observado, que transmite el ojo a través del nervio óptico hacia el cerebro.

Ciertamente, cada individuo puede dar una respuesta algo diferente ante un mismo estímulo luminoso, aun asumiendo que esos individuos no tienen problemas de visión cromática. No obstante, se puede medir instrumentalmente una vez que se ha conocido la estructura interna del ojo humano y su conexión con el cerebro a través del nervio óptico y el desarrollo tecnológico ha propiciado la construcción de fuentes de luz que imitan la distribución espectral de la luz diurna y de equipos de medición que incorporan los más recientes avances de la electrónica y las ciencias informáticas (Pantoja, 2017).

Si el ángulo total de visión varía, esto puede afectar el color aparente de la muestra. Por lo tanto, las muestras de tejido deben ser de tamaño similar al estándar para la comparación. Estas razones hacen que la comparación visual de colores debe llevarse a cabo en condiciones estándar, pues el ojo humano no es siempre estable, lo que hace que cada vez más se utilicen instrumentos para mejorar o sustituir la comparación visual. Una mala memoria de color, vista cansada, daltonismo y las condiciones de visión pueden afectar la habilidad del ojo humano para distinguir las diferencias de color. Adicionalmente a estas limitaciones el ojo humano no detecta diferencias de matiz (rojo, amarillo, verde, azul) y de croma (saturación) o de claridad de la misma manera. De hecho el observador promedio primero verá diferencias de matiz, en

seguida diferencias de croma y finalmente diferencias de luminosidad. El mejor modo de representar la aceptabilidad visual es un elipsoide.

La igualación del color es una actividad muy importante para las fábricas modernas de teñido e impresión. La habilidad para seleccionar los colorantes adecuados o la combinación de pigmentos, tomando en cuenta criterios de desempeño durante los lavados, la resistencia a la luz, reproducción del tono, y los costos es trascendental porque en el mundo competitivo en el que se vive es necesario que el proceso de coloración sea mejor, rápido y económico (MALDONADO, 2005). Las dimensiones del color y los fenómenos ópticos se utilizan como criterios para la aceptación o rechazo en el proceso de igualación del color.

1.2.1 Dimensiones del color:

- Tono, tinte o matiz: Corresponde a la primera dimensión del color y a la más sencilla de comprender. Es la sensación por la cual se observa la longitud de onda de la luz reflejada de los objetos y que normalmente se le llama color. Se trata de una variable cualitativa que permite distinguir una familia de colores de otra, el rojo, el verde del azul y los colores púrpuras. La percepción del matiz está influenciada por factores ambientales.

- Croma, saturación o intensidad: es la dimensión del color que representa el grado de pureza de un determinado matiz en particular. Es una variable cuantitativa.

- Valor, brillo o luminosidad: es una propiedad acromática que indica la cantidad de gris, basado en la escala que empieza por blanco (valor elevado) y termina en negro (valor bajo). Puede considerarse tal vez como el atributo más importante del color. Si es correcto, el observador no podría percibir las pequeñas dispersiones de matiz o croma.

Como solución a los problemas de evaluación del color se crearon sistemas de medición para poder cuantificar el color y expresarlo numéricamente, cuyo principio está basado en la cantidad de luz reflejada por el objeto. Ejemplos de estos sistemas son: el sistema Munsell, el de la Organización Internacional de luz y color (CIE) (que evalúa el color en términos de números basados en la medición de reflectancia espectral de la muestra. El primer sistema fue creado en 1931 se refiere a los valores triestímulo (X Y Z) y el segundo sistema creado en 1976 referido los espacios de color ($L^* a^* b^*$), siendo estos sistemas los más utilizados en la actualidad por los instrumentos de medición de color. El sistema CIELAB con sus coordenadas $L^*a^*b^*$, fue concebido en 1976 para proveer diferencias de color más uniformes en relación con las diferencias visuales; expresa la luminosidad L^* (claro u oscuro); a^* y b^* indican la orientación del color ($+a^*$ es la dirección del rojo, $-a^*$ es la dirección del verde, $+b^*$ es la dirección del amarillo, $-b^*$ es la dirección del azul) (Metas, 2009).

A finales de la década del 70 apareció en el mercado una nueva y completa generación de espectrofotómetros que presentaban avances ópticos y electrónicos, ya que tenían incorporado un microprocesador capaz de manejar los complejos cálculos requeridos para la colorimetría aplicada.

En la actualidad se tienen los colorímetros y espectrofotómetros para la medición del color, la diferencia entre ellos es que el colorímetro está diseñado con tres filtros de color rojo, verde y azul para seleccionar la longitud de onda del haz de luz y los espectrofotómetros están diseñados con una red de difracción para separar el haz de luz en todos sus componentes.

Existe una gran variedad de colorímetros y espectrofotómetros. La evaluación del color por métodos visuales es subjetiva, la evaluación con colorímetros o espectrofotómetros es objetiva (Pantoja, 2017). En el espectrofotómetro las luces caen en el objeto y la luz reflejada se mide por sensores electrónicos que convierten su análisis en una ecuación de color. Esta ecuación indica cuál es el color, la diferencia de color en comparación con el patrón, resultados de aceptación o rechazo. Muchas compañías han tratado de migrar a las herramientas de igualación de color utilizando un espectrofotómetro, pero existe rechazo debido a que el personal de producción o de control de calidad no cree en los sistemas de igualación computarizados, solo creen en las decisiones a simple vista, además cuando los espectrofotómetros hicieron su aparición en la rama textil aún no contaban con tecnología avanzada, los resultados no estaban 100% libres de errores ni la medida del color era 100% confiable y las personas tuvieron experiencias negativas con estos equipos.

En la UB “Desembarco del Granma” se cuenta con el equipo Color Matching cuyas características aparecen en el anexo I. Este espectrofotómetro se adquirió con los siguientes propósitos: la igualación de color, la medición de grado de blanco, el control de la calidad de los lotes y el control de la calidad de los colorantes. En los momentos de iniciarse este trabajo aún no se aprovechaban al máximo las potencialidades del equipo.

1.3 Los colorantes

El empleo de las materias colorantes, ha sido un hecho muy importante en la evolución del hombre. Su utilización e implementación surge de la necesidad humana por embellecer, adornar y resaltar los elementos de uso corriente. Los colorantes son sustancias químicas que se enlazan con otras sustancias para dar color a otro material. Los colorantes son compuestos iónicos y orgánicos aromáticos, con estructuras que incluyen anillos con sistemas electrónicos insaturados.

El color de los compuestos orgánicos depende de su estructura. Generalmente, los compuestos empleados como tintes son productos químicos orgánicos insaturados. La

característica del color es especialmente notable en productos químicos que contienen ciertos grupos insaturados bien definidos. Estos productos químicos, conocidos como cromóforos (portadores de color), tienen diferentes capacidades para dar color por un electrón traslapado o donador sustituyente causante de la intensidad del color, llamado auxocromo.

Un grupo cromóforo es un radical que consiste de un doble enlace que contiene electrones insaturados. Las configuraciones cromofóricas incluyen azo ($-N=N-$), carbonilo ($=C=O$); carbono ($=C=C=$), carbono nitrógeno ($>C=NH$ o $-CH=N-$); nitroso ($-NO$ o $N-OH$); nitro ($-NO_2$ o $=NO-OH$); y sulfuro ($C=S$) (Allen, 2005). Los colorantes tipo azo son los más empleados en la industria textil. Se caracterizan por su grupo funcional cromóforo que está representado por $-N=N-$. Aproximadamente entre el 10 y 15% de la producción total de colorantes tipo azo son descargados al medio ambiente a través del agua residual (Tan, 2000).

Los colorantes son capaces de teñir las diferentes fibras naturales o sintéticas, que absorben selectivamente parte a la totalidad de las radiaciones luminosas de la zona visible del espectro (400 a 700 nm), poseen grupos auxocromos que le proporciona afinidad por la fibra.

Para que un colorante sea útil, debe ser capaz de unirse fuertemente a la fibra, y por lavado no debe perder su color. Debe ser estable químicamente y soportar bien la acción de la luz (Cortés, 2009, MALDONADO, 2005).

Los colorantes difieren en su resistencia a la luz, sudor, lavado, su afinidad por las diferentes fibras, su reacción a los agentes y métodos de lavado, su solubilidad y métodos de aplicación (Arriaga, 2005).

- Colorantes dispersos

El poliéster se tiñe con colorantes dispersos (Ojeda, 2011). Estos son no iónicos y como tales son insolubles o poco solubles en agua, incluso a altas temperaturas (Salvo Bianco, 2009). Las moléculas del colorante no se adhieren a la fibra, sino que se produce toda una variedad de interacciones electroestáticas (dipolo-dipolo, Van der Waals, y puentes de hidrógeno) que incrementan la afinidad con la fibra, lo que produce la fijación. La falta de un fuerte nexo químico permite cierto grado de migración fuera de la fibra.

La disolución de las partículas del colorante está muy influenciada por factores como el agua, pH del medio, relación de baño, dispersantes, electrolitos, además de las altas temperaturas de trabajo.

El pH del medio debe rondar el medio ácido en el caso de los procesos de teñido normales o el medio alcalino como ocurre con ciertas gamas de colorantes de aplicación actual utilizados en la tintura de la mezcla de poliéster-celulosa con colorantes reactivo en un solo baño. También el agua debe ser analizada ya que muchos colorantes dispersos y ciertos auxiliares pueden ser

sensibles a la dureza de la misma, necesitándose en muchos casos el agregado de agentes secuestrantes para corregir tal problema. La inclusión de agentes tensoactivos en el baño es un factor crucial en la aplicación de colorantes dispersos, los cuales por lo general son de naturaleza aniónica (TEXVI, 2015a)

- Colorantes reactivos

Los colorantes reactivos para la tintura de algodón 100% son muy empleados por las características de solidez que adquieren los textiles luego del proceso de tintura ya que el colorante reacciona covalentemente con la fibra.

Los colorantes reactivos forman enlaces covalentes con las fibras de algodón. Las partes principales de la molécula de colorante son el cromóforo (es la parte de la molécula colorante que le imparte color) y el grupo reactivo. El tipo de grupo reactivo en la molécula del colorante determina el nivel de reactividad, mientras que su sustentividad es regida por el grupo cromóforo. Ambas propiedades son igualmente importantes en el control de calidad de los teñidos (Needles, 1986). El tintado del algodón se realiza con un pH de entre 9,5 y 11, este pH se consigue con NaCO_3 y/o NaOH . Las condiciones alcalinas (o cáusticas) son usadas para fijar los colorantes al tejido de algodón, mientras que las condiciones ácidas son usadas para teñir la lana (Mackay, 2015).

Colorantes tina

Los colorantes tina consiguen una excelente durabilidad del color y estabilidad a los rayos UV, por lo que estos colorantes caros se usan con frecuencia en telas que han de soportar lavados frecuentes y duros, como los uniformes militares y los textiles para hospitales o aquellos que se ven expuestos constantemente a la luz del día como la ropa y los complementos. Los colorantes son insolubles en agua pero por su reducción en medio alcalino se transforman en leuco derivados hidrosolubles para poder ser absorbidos por el textil.

El proceso de reducción de los colorantes tinas está fundamentado en la acción reductora del hidrógeno sobre el grupo carbonilo, transformándolo en un grupo alcohólico lo que trae consigo la solubilidad del colorante en medio acuoso alcalino. Como compuesto reductor se utiliza hidrosulfito de sodio o derivados estabilizados del mismo como son el formaldehído y el acetaldehído sulfoxilato sódico. Como álcali se utiliza la sosa cáustica exclusivamente.

El hidrosulfito sódico es destruido por la acción térmica y del aire siendo aprovechado para la reducción del colorante solo el 15-20% del total suministrado al colorante.

La presencia de esta sustancia en las tinciones provoca que en las aguas residuales existan sales de azufre. Estos productos no son biodegradables, ya que su estructura molecular es demasiado grande para ser absorbida por células bacterianas enteras.

En la sección de teñido de la UB “Desembarco del Granma”, se emplean los colorantes dispersos para los tejidos que tienen fibras de poliéster, los tina tiñen la fibra de algodón y los colorantes reactivos se emplean en el proceso de teñido del algodón y la viscosa.

La mayor parte de los colorantes reactivos que se usan presentan reactividad moderada, lo cual significa que el rango óptimo de pH de fijación que recomiendan los fabricantes es de 11 a 11,5.

1.4 Aspectos ambientales propios de la fabricación de textiles

Entre las principales preocupaciones en materia medioambiental relacionada directamente con la industria textil se encuentran las grandes cantidades de agua que se requieren para llevar a cabo los procesos de acabado y consecuentemente las grandes cantidades de agua residual que se generan con una alta carga contaminante derivada del uso de todo tipo de productos auxiliares, colorantes y aguas de lavado de las fibras textiles. Igualmente también son importantes otros parámetros como el consumo energético, las emisiones atmosféricas, los olores y los residuos sólidos propiamente dichos.

El tinturado es uno de los procesos más cuestionados dentro de la industria textil, por su generación de carga contaminante e impacto en el medio ambiente. Es un proceso netamente húmedo que genera una gran cantidad de efluentes contaminados por colorantes, auxiliares químicos y sólidos suspendidos (Morillo, 2012).

1.4.1 El agua como recurso en la industria textil

El consumo de agua tiene un impacto ambiental considerable en términos de necesidades de agua dulce, producción de aguas residuales / lodos y energía empleada para la calefacción. Las recomendaciones específicas para este sector incluyen: reutilizar los baños de tintura, adoptar lavadores continuos horizontales, lavadores de pulverización verticales o lavadores verticales y lavadores de doble revestimiento, adoptar el lavado a contracorriente (por ejemplo reutilizar el agua menos contaminada del lavado final para el penúltimo lavado), utilizar dispositivos de control de flujo del agua para garantizar que el agua fluya solamente a los procesos cuando sea necesario, reutilizar el agua de preparación y acabado.

Aguas residuales de procesos industriales

Los efluentes de aguas residuales específicos de la industria están relacionados con las operaciones en húmedo, que se realizan durante las distintas fases del proceso de fabricación de textiles. Las aguas residuales de proceso en la fabricación de textiles suelen ser alcalinas y con elevadas DBO (de 700 a 2000 mg/L) y DQO. Los contaminantes presentes en los efluentes textiles incluyen sólidos en suspensión, aceites minerales (por ejemplo agentes antiespumantes, grasas, lubricantes de hilatura, agentes surfactantes no biodegradables o de

reducida biodegradabilidad y otros compuestos orgánicos, incluidos fenoles procedentes de los procesos de acabado en húmedo (por ejemplo la tintura) y sustancias orgánicas halogenadas resultantes del uso de disolventes durante el blanqueo. Las corrientes de efluentes derivadas de los procesos de tintura suelen estar calientes y coloreadas y pueden contener concentraciones significativas de metales pesados (por ejemplo cromo, cobre, cinc, plomo o níquel).

Las aguas residuales de proceso generadas por el procesamiento de la fibra natural pueden contener plaguicidas empleados en los procesos de preacabado (por ejemplo el cultivo de algodón y la producción de fibras animales), así como posibles contaminantes microbiológicos (por ejemplo bacterias, hongos y otros agentes patógenos) y contaminantes como colorantes empleados para el marcado de ovejas.

Las aguas residuales resultantes de la tintura pueden contener pigmentos de color, halógenos (especialmente en colorantes tina, dispersos y reactivos), metales (por ejemplo cobre, cromo, cinc, cobalto y níquel), aminas (producidas por colorantes azoicos en condiciones reductoras) en tintes usados y otras sustancias químicas empleadas como auxiliares en la formulación de tintes (por ejemplo agentes de dispersión y antiespumantes) y en el proceso de tintura (por ejemplo álcalis, sales y agentes reductores / oxidantes). Los efluentes del proceso de tintura se caracterizan por niveles relativamente altos de DBO y DQO, situándose normalmente esta última por encima de los 5000 mg/L. La concentración de sal (por ejemplo del uso de tintes reactivos) puede oscilar entre los 2000 y 3000 ppm.

El teñido a la continua resulta en rangos más bajos de descarga de aguas residuales que el teñido por lote debido a usar relaciones de baño más bajas. Los rangos de descarga de aguas residuales para estampar son similares a éstas para el teñido continuo.

Los colorantes o tintes que no se agotan o se fijan totalmente en la fibra, o reciclados, se descargan consecuentemente en el afluente de aguas residuales. Estos tienen un alto impacto visual. Las aguas residuales pueden contener altos valores de AOX (Haluros Orgánicos Absorbibles) y metales pesados tales como el cobre, zinc, cromo y níquel que son tóxicos al ambiente. A raíz de que los colorantes se diseñan para ser estables en textiles, no son normalmente biodegradables bajo condiciones aeróbicas. Cabe destacar que, la fórmula de las tinturas contiene aproximadamente 30 % de tintura pura, por lo tanto la mayoría de las fórmulas consisten en agentes de dispersión que no son biodegradables (ejemplo: productos de condensación del ácido sulfónico de naftalina) y agentes estandarizados. (Sedlak, 2012)

1.4.2 Las emisiones en el sector textil

Las emisiones de gases efecto invernadero se generan en este sector principalmente por los procesos de combustión, la descomposición de residuos y vertimientos (Benavides, 2015).

La tendencia mundial es reducir el contenido de azufre en el petróleo combustible a valores cercanos al 1% en masa. Los países miembros de la Unión Europea han adoptado este límite a partir del año 2003. Cabe destacar, que a nivel internacional, se busca reducir el contenido de azufre en los combustibles, es por ello que las legislaciones internacionales al respecto indican niveles entre 0,3 y 4% de azufre, siendo Estados Unidos y Suecia los países más restrictivos; los países más permisivos son Francia, Portugal, España, Bélgica e Italia.

En términos generales las medidas aplicables para reducir las emisiones atmosféricas van desde el cambio de combustible y mejoras en la combustión hasta la instalación de algún equipo de control de emisiones. El cambio de combustible es una opción válida siempre y cuando se cuente con la viabilidad técnico-económica para pasar de combustibles con alto contenido de azufre y cenizas, como el carbón a uno más limpio, como por ejemplo gas natural. Los lavadores de gases (scrubbers) son utilizados para reducir las emisiones de material particulado y también de SO_2 . Los scrubbers consisten en una torre empaquetada por la cual se hace circular los productos de la combustión, generados por una caldera u horno, en contraflujo con agua a la cual se han dosificado químicos (Na_2CO_3) capaces de absorber el azufre. La dosificación del químico, que reaccionará con el SO_2 , se controla mediante el pH de la solución (agua recirculada en contraflujo con los productos de la combustión).

A partir de lo anterior se distinguen las principales medidas secundarias para reducir las emisiones de óxidos de azufre: lavadores de gases húmedos, lavadores de gases secos, inyección de sorbentes y procesos regenerativos (Mahmood, 2011).

Los problemas de corrosión de los equipos en las industrias y la emisión de gases contaminantes a la atmósfera producto de los procesos de combustión son actualmente unos de los más estudiados en lo que respecta a tratamiento de combustibles crudos. El aditivo ADI3TEK es un inhibidor químico de tercera generación específicamente desarrollado para bloquear las reacciones de depósito e incrustaciones generadas por azufre en precalentadores y hornos de cemento así como para generadores de vapor. Se identifica físicamente por ser una suspensión líquida de color crema, compuesta de una mezcla propietaria de agentes anti-apelmazantes, surfactantes, estabilizadores y anti-polimerizantes, cuya base fundamental es el óxido de magnesio, encargado de la reacción primaria del aditivo, en la inhibición de la oxidación del SO_2 a SO_3 , el aditivo inhibe la acción del V_2O_5 como catalizador de la reacción de formación del SO_3 . (Sánchez, 2015). Una vía para disminuir el potencial corrosivo del crudo

cubano es mediante el uso de aditivos químicos como el ADI3TEK, lo cual contribuye a que los gases que salen del generador de vapor presenten menor contenido de SO₂ (Sánchez, 2016).

Las emisiones generadas por los procesos textiles (excluyendo las que son propias de las calderas) proceden principalmente del acabado de alta calidad y de las máquinas de secado y condensación. En general, estas emisiones se clasifican en 4 tipos: neblinas de aceites y ácidos, vapores de disolventes, olores, polvo y fibras. Las neblinas de aceites se producen cuando se someten a calentamiento los artículos textiles que contienen aceites, plastificantes y otros materiales que se degradan térmicamente. Los vapores de disolventes generalmente contienen un elevado número de compuestos tóxicos en concentraciones variables, dependiendo de los productos químicos empleados en las operaciones de tintura y acabado. Los problemas de olores más frecuentes son causados por: el acabado con resinas, principalmente a base de formaldehído, tinturas sulfurosas del algodón y sus mezclas, la reducción del colorante con hidrosulfito, blanqueo con dióxido de cloro. Los polvos y fibras se producen principalmente en la hilatura de fibras naturales y sintéticas y en la fabricación de alfombras. En menor medida, la mayoría de los otros procesos textiles producen polvo. Aunque no es un contaminante por sí mismo, la presencia de polvo puede interferir en la eliminación de otros compuestos volátiles (Gutiérrez, 2003).

Las operaciones de fabricación de textiles pueden generar fuentes considerables de contaminantes del aire, incluidos los procesos de acabado (por ejemplo operaciones de revestimiento y tintura). Otras fuentes significativas de emisiones a la atmósfera en las operaciones textiles incluyen los residuos de secado, estampado, preparación de tejidos y tratamiento de las aguas residuales. Los disolventes pueden generarse durante los procesos de acabado de revestimiento / tratamiento, hornos de secado y el secado y la curación a altas temperaturas. Otras emisiones potenciales incluyen formaldehído, ácidos (especialmente ácido acético) y otros compuestos volátiles tales como portadores y disolventes emitidos durante las operaciones de tintura y de tratamiento de aguas residuales. Los vapores de disolvente pueden contener entre otros compuestos tóxicos como acetaldehído, clorofluorocarbonos, acetato de etilo, metilnaftaleno y clorotolueno.

Las emisiones de polvo asociadas con la fabricación textil se producen durante el procesamiento de las fibras naturales y sintéticas y la confección de hilos. El manejo y almacenamiento de la fibra (sobre todo el algodón) constituyen fuentes de polvo, especialmente en las áreas de trabajo. Las principales fuentes son las abridoras de balas, alimentadores automáticos, separadores y abridores, cintas transportadoras mecánicas, batanes y cardas.

La fabricación de textiles puede generar olores, especialmente durante la tintura y otros procesos de acabado, y el uso de aceites, vapores de disolvente, formaldehído, compuestos de azufre y amoníaco.

1.5 Análisis del ciclo de vida

El análisis o evaluación del ciclo de vida (ACV), en general se puede definir como una aproximación por parte de la administración de la empresa para reducir el impacto de un producto (en este caso la tela teñida), paquete o actividad sobre la salud humana y el medio ambiente, mediante el examen de cada fase de la vida de los productos manufacturados, desde la extracción de las materias primas y a través de la producción o construcción, distribución, uso, mantenimiento y basura o reciclado (Henn, 1994). En la década del 1970 la evaluación del ciclo de vida se concentraba principalmente en energía y materias primas, pero más tarde se incluyeron en los cálculos emisiones al aire, al agua y desechos sólidos. Las aplicaciones potenciales del ACV incluyen: la identificación de oportunidades de mejora en aspectos ambientales, como una herramienta en la toma de decisiones en planeación estratégica, para la definición de prioridades y diseño de procesos y productos, selección y evaluación de indicadores ambientales relevantes de rendimiento, programas de mercadotecnia (ISO, 1997). Esta regulación define el ACV como una compilación y evaluación de las entradas y salidas y los impactos potenciales ambientales de un sistema de producto a través de su ciclo de vida, es decir, es una técnica para dirigir los aspectos ambientales e impactos medioambientales potenciales en todas las partes del ciclo de vida de un producto: la adquisición de materia prima, la producción, el empleo, el tratamiento de final de vida, reciclado y la disposición final. Entre los impactos medioambientales, que pueden ser considerados, se encuentran el cambio climático, el agotamiento del ozono estratosférico, la eutrofización, la acidificación, la tensión toxicológica sobre la salud humana y ecosistemas, el agotamiento de recursos y la tierra usada, aguas residuales con el alto contenido de sustancias químicas, pesticidas y problemas de fertilizantes sintéticos, el enorme consumo de energía durante la fabricación de materiales basados en el petróleo. La metodología del ACV ha sido empleada para la evaluación de impactos medioambientales durante la fabricación y la fase de empleo en el sector de textil (Sule, 2012).

En los últimos años, la evaluación del ciclo de vida (ACV) se ha adoptado cada vez más por las empresas de textiles y prendas de vestir. Muchos actores de la cadena textil y de la confección, como los fabricantes de fibras (por ejemplo, Lenzing, Advansa, Dupont), utilizan el ACV para evaluar el impacto de los productos textiles. Además, los institutos textiles y de moda (por ejemplo, la Fashion Institute) han promovido también el uso de esta herramienta.

Una encuesta bibliográfica y algunas investigaciones entre expertos en el campo de los estudios de ACV sobre textiles mostraron que los datos del ACV y los datos de proceso públicamente disponibles están obsoletos, no son transparentes (especialmente en cuanto a los límites del sistema), y a veces se encuentran fuera de rango (Natascha, 2013).

La fabricación de un artículo textil conlleva diversas fases, desde la obtención de las materias primas y energía necesarias para la elaboración de los distintos componentes que integran el producto textil, hasta el procesado de cada componente, el montaje de los mismos para constituir el artículo final y el transporte de cada uno de los elementos. Tanto para la obtención de materias primas como para las diferentes etapas productivas durante la propia fabricación textil se produce un consumo energético procedente de diversas fuentes de energía. El tipo de energía consumida depende por norma general del tipo de proceso y suele corresponder a gas natural y electricidad. El principal impacto asociado al consumo energético es además el empleo de combustibles no renovables (bien directa o indirectamente) y la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (fundamentalmente CO₂) (IHOBE, 2010).

1.5.1 Ventajas y desventajas del Análisis del Ciclo de Vida

El valor real de esta metodología consiste en la articulación entre el criterio ambiental a través de todo el ciclo de vida y las estrategias de la empresa y planificación para alcanzar beneficios comerciales. Además determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un ecopuntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares o para comparar dos o más productos alternativos, favoreciendo el desarrollo de materiales más respetuosos con el medio ambiente. Contribuye a identificar qué parámetros se deben supervisar y controlar en función de su importancia. Entre sus puntos fuertes se puede mencionar primeramente, su carácter globalizador, que evita el traslado del problema; por ejemplo, evita que la solución a un problema ambiental particular ocasione el deterioro de una parte del ciclo de vida, u otro vector ambiental; y en segundo lugar muestra una relación de todos los recursos usados, así como de los residuos y emisiones generados por la unidad funcional del sistema, permitiendo así un marco de referencia común para sistematizar la nomenclatura y metodología utilizada, y poder comparar estudios medioambientales con origen diferente.

Entre las limitaciones del ACV se encuentran: subjetividad en la naturaleza de elecciones e hipótesis, la precisión puede estar limitada por la accesibilidad o disponibilidad de datos importantes, o por la calidad de los mismos. No es capaz de apuntar el carácter temporal o espacial de un determinado efecto, a causa de las carencias de detalles temporal y espacial en la base de datos (Castillo, 2015).

1.5.2 Metodología de evaluación

La metodología de evaluación de impacto seleccionada para el presente estudio es la ReCiPe, creada por RIVM, CML, PRé Consultants, Radboud Universiteit, Nijmegen y CE Delft. ReCiPe se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML2001 y Eco-Indicator99. La ventaja del método CML es su solidez científica, mientras que la ventaja del Eco-indicator 99 es su facilidad de interpretación. Se trata de una metodología publicada en el año 2008 e internacionalmente aceptada. Esta metodología, también está enmarcada en el ámbito europeo y está considerada como la sucesora de las metodologías anteriores.

La evaluación del impacto ambiental se realiza por la metodología ReCiPe mediante el uso del software Sima pro 8.0

1.6 Producciones más Limpias

El mundo actual exige la minimización del impacto ambiental en la industria textil, que se considera una estrategia gerencial tendiente a reducir el volumen y la carga contaminante. La reducción económica del impacto ambiental juega un papel importante y se presenta como una alternativa interesante, porque al minimizarse el volumen del residuo generado por la industria, se disminuye la carga contaminante al ambiente y también se optimiza el proceso productivo, lo que se traduce en beneficios económicos, a lo que se le denomina Producción más Limpia (P+L) (Morillo, 2012).

La propuesta de Producciones más Limpias reconoce que la mayor parte de los problemas ambientales (calentamiento global, contaminación tóxica, pérdida de biodiversidad) son causados por la manera y el ritmo con que se produce y consumen los recursos. El objetivo de las Producciones más Limpias es satisfacer las necesidades de la sociedad a través del uso eficiente de la energía y la utilización de materiales renovables y libres de peligros, que no afecten la biodiversidad.

La producción más limpia es la aplicación de una estrategia ambiental preventiva e integrada aplicada a los procesos productivos, productos y servicios. Incluye un uso más eficiente de los recursos naturales y por ende minimiza los desechos y la contaminación así como el riesgo a la salud humana y a la seguridad (PNUMA, 1999). Ataca los problemas en la fuente en lugar de hacerlo al final del proceso productivo; en otras palabras evita la aproximación de “final de tubo” (CITMA, 1996, Martínez, 2004). La introducción de P+L requiere de cambios en las actitudes que aseguren una gestión ambiental responsable, creen políticas nacionales conductoras y evalúen las opciones tecnológicas. Con esto se reconcilia el desarrollo económico con el cuidado del medio ambiente, se mejora la competitividad empresarial, la que puede evaluarse a través de diferentes métodos e instrumentos, tales como los indicadores ambientales. Su

implementación involucra las siguientes prácticas: administración de procedimientos de producción, sustitución de materiales, cambios en las tecnologías, aprovechamiento de residuos y rediseño del producto.

Uno de los problemas que enfrenta la industria textil en la actualidad, se relaciona con el uso ineficiente y no efectivo de materias primas y el destino de los desechos que generan sus actividades económicas. Es por ello que se requiere un manejo adecuado de los recursos.

Entre los beneficios de las producciones más limpias dentro de la industria textil se encuentran: reducción del consumo de materias primas e insumos, reducción en los costos de operación, mejora de la calidad de los productos y la eficiencia de los procesos, disminución de los volúmenes de desechos generados, mejora de las condiciones de trabajo, disminución de accidentes de trabajo, acceso a nuevos mercados y mejor aceptación por parte de los clientes. (BOLAÑOS, 2010)

1.6.1 Selección y uso de sustancias químicas

Los productos químicos deben reportar en sus correspondientes hojas de seguridad la ecotoxicidad de los mismos, dato que va a permitir la posibilidad de analizar y comparar los productos químicos utilizados en los diferentes procesos textiles, con el fin de cambiar y sustituir aquellos más ecotóxicos por otros que permitan realizar la misma función, pero que su uso supone un impacto medioambiental mucho menor.

Las actividades de fabricación de textiles pueden incluir el uso de sustancias químicas durante el pretratamiento, la tintura y otros procesos destinados a obtener el producto final con las propiedades visuales y funcionales deseadas. Las recomendaciones para evitar o, en caso de ser inevitable, minimizar el uso de materiales peligrosos incluyen: (Oeko-Tex, 2006)

- Sustituir los agentes surfactantes potencialmente peligrosos por compuestos biodegradables / bioeliminables que no generen metabolitos potencialmente tóxicos.
- Evitar el uso de agentes surfactantes y complejantes no biodegradables y bioeliminables en los procesos de pretratamiento y tintura (por ejemplo, mediante la selección de compuestos menos peligrosos o modificaciones de proceso que permitan eliminar el hierro y cationes alcalinos).
- Evitar el uso de ignífugos no permanentes y reticulantes con altos niveles de formaldehído.
- Sustituir las sustancias químicas tóxicas y persistentes, orgánicas e inorgánicas, de conservación de textiles (por ejemplo compuestos bromurados y clorados, dieldrina, arsénico y mercurio) empleadas en el tratamiento antipolilla, el entramado de fondos para alfombras y otros procesos de acabado por agentes biodegradables.

-Evitar o minimizar el uso de agentes antiespumantes con impactos potenciales mediante el reciclado, impidiendo la rotación de los tejidos o seleccionando agentes biodegradables / bioeliminables

Se evitará el uso de las siguientes sustancias químicas:

-Las sustancias químicas prohibidas por la Norma Oeko-Tex 1000.

-Los compuestos pesados de benceno empleados en las concentraciones de emulsión durante el proceso de estampado con pigmentos.

-Los dicromatos como agentes oxidantes, a menos que su sustitución no sea factible debido a las características del tejido y a los requisitos de fuerza del colorante.

-Los disolventes clorados o fluoroclorados en sistemas abiertos.

Algunas de las medidas recomendadas para prevenir y controlar la contaminación consisten en: el uso de sistemas automáticos de dosificación y distribución de tintes, cuando corresponda, el uso de procesos continuos y semicontinuos de tintura para reducir el consumo de agua con respecto a los procesos más tradicionales de tintura por lotes, el uso de sistemas de blanqueo (por ejemplo máquinas de tintura a chorro y tintura en paquete y técnicas discontinuas-fulardadas) que reduzcan el coeficiente de licor-tejido, el uso de maquinaria con reguladores automáticos de temperatura y parámetros de ciclo de tintura, la optimización del tamaño de las máquinas en función del tamaño de los lotes de tejidos procesados, la implementación de la extracción mecánica de licor para reducir el arrastre del licor colorante y aumentar la eficacia del lavado, la adopción de ciclos de proceso optimizados y procedimientos para reducir la duración del ciclo; la reutilización del agua de aclarado para la tintura posterior o el aclarado a contracorriente en máquinas continuas; y la reconstitución y reutilización de los baños de colorante, la sustitución de los portadores convencionales de tinte y agentes de acabado por compuestos menos tóxicos, emplear fibras de poliéster que puedan teñirse sin portadores, sustituir los colorantes convencionales de azufre en polvo o líquido por materiales colorantes estabilizados no reducidos previamente y sin sulfuro o por formulaciones líquidas colorantes reducidas previamente con un contenido en sulfuro inferior al 1 por ciento, el uso de colorantes dispersos que puedan aclararse en un medio alcalino mediante la solubilización hidrolítica en vez de la reducción, el uso de formulaciones de colorante que contengan agentes de dispersión altamente biodegradables (por ejemplo basados en ésteres de ácidos grasos o ácidos sulfónicos aromáticos modificados), la sustitución de tintes de cromo por tintes reactivos. Se evitarán los colorantes azoicos con bencidina, colorantes que contengan metales pesados y colorantes clorados. También se evitarán los colorantes azoicos que puedan producir aminas aromáticas carcinógenas. La adopción de técnicas de tintura bajas en sal, especialmente para

los tintes reactivos. La adopción de procesos de secado de pH controlado (el uso de colorantes ácidos y básicos de pH controlable que permitan regular el pH)

El tratamiento de las aguas residuales de tintura en plantas de tratamiento que utilizan técnicas habitualmente disponibles, como la electrólisis, la ultrafiltración y la ósmosis inversa, lodos activados, floculación y oxidación/reducción.

Las técnicas para prevenir o minimizar los olores procedentes de estas fuentes incluyen:

Sustituir las sustancias de olor intenso por compuestos con menos impacto (por ejemplo materiales colorantes que contengan azufre y agentes reductores con materiales colorantes no reducidos previamente y sin sulfuro; ditionita de sodio en la tintura después del tratamiento con derivados alifáticos de ácido sulfinico de cadena corta).

Instalar y modificar los equipos para reducir el uso de sustancias químicas olorosas.

Captar y recuperar los gases emitidos durante los procesos (por ejemplo la instalación de sistemas de recuperación de calor).

Conclusiones parciales

- 1) El sistema de teñido es un proceso continuo en el que una tela abierta a lo ancho, se impregna de colorante y posteriormente ese colorante es fijado por medio de vapor.
- 2) La evaluación del color por métodos visuales es subjetiva, mientras que la evaluación con colorímetros o espectrofotómetros es objetiva.
- 3) El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta útil para la definición de prioridades y diseño de procesos y productos, selección y evaluación de indicadores ambientales relevantes de rendimiento en el proceso textil.
- 4) Con el empleo de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, se detectan los principales problemas ambientales provocados por la industria textil y sobre esta base se pueden proponer medidas de producción más limpia que posibiliten la mejora continua del proceso.

Capítulo 2 Estudio del impacto ambiental del teñido del tejido poliéster- algodón

2.1 Caracterización de la línea de teñido poliéster- algodón en la UB “Desembarco del Granma”.

El teñido es un proceso continuo. Al foulard se le bombea una solución elaborada en el cuarto de preparación, compuesta por: colorantes dispersos y reactivos, productos auxiliares (antimigrante, dispersante, humectante, carbonato de sodio y cianoguanidina) y agua. Esta solución es función de la receta enviada por el laboratorio. La tela se impregna de la solución colorante en el foulard. Posteriormente es secada y pasa al termosol para termofijar el color. Una variable de operación importante a controlar durante la reacción es la temperatura, la cual no debe exceder los 210°C porque se afectaría la calidad del tejido, por ejemplo su textura.

En el foulard y en el termosol la tela de referencia 23 pasa a una velocidad de 40 m/min. El consumo de vapor en el secado inicial es de 960 kg/h.

Una vez fijado el color, el tejido pasa a un tren de lavado para eliminar el colorante superficial (que no fue fijado). Se realizan lavados consecutivos. En las primeras cinco cajas la temperatura del agua es de 55 a 60°C. En la caja seis se añaden detergente aniónico (1g/L) y carbonato de sodio (0,5g/L), el agua alcanza una temperatura de 90 a 95°C. En la caja siete la temperatura del agua es de 80 a 90°C, mientras que en la ocho es de 55 a 60°C. En la caja nueve el lavado se realiza a temperatura ambiente. Posteriormente se realiza un secado indirecto, en un secadero compuesto por 24 cilindros, donde se emplea vapor en 21 de ellos y en los tres últimos se utiliza agua para enfriar la tela hasta una temperatura de 35°C. En el lavado y secado final se consumen 2800 kg/h de vapor.

El diagrama de flujo se muestra en la figura # 2.1

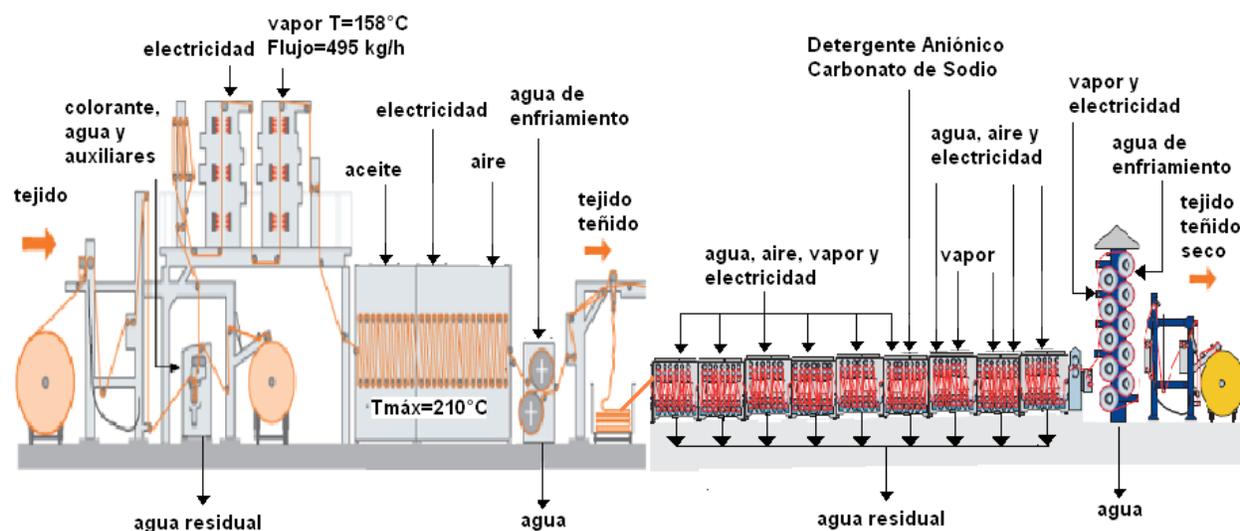


Figura # 2.1 Diagrama de flujo de la línea de teñido poliéster- algodón.

2.2 Consumos de agua

Se aplicaron los balances de masa y energía, para determinar consumos de agua y vapor. Se realizó el balance de energía en el generador de vapor. El esquema energético y los resultados del balance aparecen en el anexo II. Se obtuvieron los datos necesarios de las entalpías de la literatura (Keenan, 1988).

Se tomó como sustrato el tejido poliéster algodón (2023812), cuyas características se reflejan en la tabla # 2.1.

Tabla # 2.1 Características del sustrato empleado.

Lote	Colores	Ancho (cm)	Peso (g/cm ²)	Densidad (h/10cm)
0017	2-922-3 y 2-804-3	138,66	209,67	452 (U)

El consumo de soluciones de colorantes en el taller de teñido depende de la referencia que se vaya a procesar. Para 1000 L de solución colorante, se muestran en la tabla # 2.2 las cantidades de metros lineales de tela que se pueden teñir.

Tabla # 2.2 Relación entre la cantidad de metros lineales de tela teñida y la referencia.

Referencia	Cantidad de metros lineales para 1000 L de solución
23	6500
Poplín	10000
52	4300
Algodón/algodón estrecha	7000
Algodón/algodón ancho y gordo	4500
34	6000
Mantel poliéster/viscosa	4000

Fuente: Datos del taller de teñido de la UB "Desembarco del Granma"

Para la preparación de las recetas de teñido de la referencia 23 se emplean 0,39 m³/h de solución colorante (considerando que se trabajan siete horas al día y se tiñen 6500 m con 1000 litros de solución).

El agua para lavado de telas teñidas para obtener colores claros medios circula a una velocidad de 4 L/min, según valor indicado por el rotámetro (TEXVI, 2015a). Además se tiene en cuenta la capacidad de las cajas de lavado y el agua contenida en ellas, por lo que el consumo de agua total en la línea de teñido es de 40,9 m³/h, se trabaja como promedio 7 horas al día.

2.3 Caracterización de las aguas residuales

Dentro de los aspectos a considerar para poder realizar el inventario del proceso se encuentra la caracterización de las aguas residuales. Se tomaron muestras de las mismas a la salida de las cajas de lavado. Los resultados de los análisis se reflejan en la tabla 2.3

Tabla # 2.3 Caracterización de las aguas residuales de la sección de teñido.

Parámetros	Valores determinados	Valores admitidos por NC
pH	9,95	6÷9
Conductividad ms/cm	2,12	4
DQO (mg/L)	1689	700
DBO ₅ (mg/L)	1000	300

Al comparar los resultados obtenidos con los valores normados (NC:27, 2012) se aprecia que el pH excede ligeramente el valor superior, esto se debe a la presencia de sustancias como el detergente y el carbonato de sodio que contribuyen a elevar la basicidad, pero son útiles en el lavado de la tela.

La DQO refiere valores muy por encima de los admitidos, debido al contenido de materia orgánica total presente, aportada fundamentalmente por los residuos de colorantes.

La DBO₅ determinada supera la permitida para el vertimiento del agua a un cuerpo receptor con la calidad requerida, debido a que los colorantes empleados presentan en su composición materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos así como nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos y compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas (Nitrosomonas y Nitrobacter)

Las corrientes residuales del proceso de teñido se mezclan con otras corrientes provenientes del taller de blanqueo y estampado. Todo este volumen de agua residual unido con el proveniente de diferentes áreas de la UB es transportado hacia la planta de tratamiento de residuales, que funciona a través de un proceso de lodo activado.

En tal sentido resultará favorable lograr una reducción de las aguas residuales del proceso de teñido.

2.4 Emisión de contaminantes de la entidad.

Las emisiones principales de la UB textil "Desembarco del Granma" provienen de la quema de fuel oil en los calentadores de aceite y en las calderas generadoras de vapor. Se realizó una inspección para detectar posible falta de aislamiento en tuberías conductoras de vapor desde el

generador de vapor hasta la planta de teñido y se detectó que existen 3 metros de tubería con aislamiento en malas condiciones lo que ocasiona pérdidas energéticas.

Se llevó a cabo una caracterización y evaluación de la calidad del aire por parte del Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara (Núñez, 2017) donde se tuvieron en cuenta los datos técnicos fundamentales que aparecen en la tabla # 2.4:

Tabla # 2.4 Características de la caldera generadora de vapor y de los calentadores de aceite.

Equipos	Caldera generadora de vapor	Calentadores de aceite
Horario de trabajo	6-24	6-24
Horas de trabajo por días	18	18
Días de trabajo en el mes	22	22
Altura de la chimenea (m)	25	15
Diámetro interior de la chimenea a la salida (m)	1,10	0,60
Consumo de combustible (L/día)	18747,9	2083,1
Consumo combustible promedio (t/año)	3832	698
Temperatura de salida de los gases de la chimenea (°C)	175	250
Tipo de combustible	Fuel oil Bunker C	Fuel oil Bunker C

Resultados del estudio de la calidad del aire.

Como resultado de este estudio se conoció que las emisiones simultáneas provenientes de la caldera generadora de vapor y los calentadores de aceite de NOx, CO, material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) no dan lugar a deterioro de la calidad del aire en la zona de estudio, por lo que no están representados sus mapas de dispersión respectivamente.

- Dispersión del SO₂ en 24 horas, emitido por el calentador de aceite.

En la figura 1 del anexo III el SO₂ alcanza valores máximos de 75 µg/m³ a una distancia entre 200 y 800 m a sotavento de la fuente, superando la concentración máxima admisible según NC 1020: 2015, para una categoría de calidad del aire de Deficiente (color amarillo), según NC 111: 2004. Bajo estas condiciones comienza un ligero incremento en la frecuencia y severidad de los efectos adversos agudos y crónicos en la población general y principalmente en personas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias y alérgicas y en otras de elevada susceptibilidad, solo detectable mediante investigaciones muy específicas y sensibles.

- Dispersión del SO₂ en 24 horas, emitido por el calentador de aceite y la caldera generadora de vapor.

En las figura 2 del anexo III el SO₂ alcanza valores máximos de 100 µg/m³ a una distancia entre 200 y 400 m a sotavento de la fuente, superando la concentración máxima admisible según NC 1020: 2015, para una categoría de calidad del aire de Mala (color rojo), según NC 111: 2004. Bajo estas condiciones ocurre un aumento de la frecuencia y gravedad de los efectos adversos en grupos de alta susceptibilidad y en la población general.

2.5 Inventarios del proceso actual de teñido

Se conformó la relación de inventarios del proceso. Se tomó como unidad funcional un metro de tela teñida. En la tabla # 2.5 aparecen reflejados los valores de los inventarios considerados para el análisis del impacto ambiental.

Tabla # 2.5 Tabla de inventarios para la obtención del color beige a partir del teñido del tejido poliéster-algodón.

	Cantidad	unidad
Entradas		
De la Naturaleza		
Agua	0,025	m ³ / m de tela
De la Tecnosfera		
Tela blanqueada	1	m
Vapor	0,0023	t/m de tela
Electricidad	0,06	kW/m de tela
Carbonato de sodio	2,24	g/m de tela
Diciandimida	4,48	g/m de tela
Antimigrante	1,12	g/m de tela
Detergente	0,11	g/m de tela
Colorantes	0,72	g/m de tela

Salidas		
Producto		
Tela teñida	1	m
Emisiones al aire		
SO ₂	4,63	g/m de tela
SO ₃	0,17	g/m de tela
NO _x	1,39	g/m de tela
Material particulado	0,27	g/m de tela
Emisiones al agua		
DQO	37,2	mg/m de tela
DBO ₅	22	mg/m de tela

También se obtuvieron los inventarios para el teñido del tejido poliéster- algodón para lograr el color gris. Los resultados son similares a los que se observan en la tabla 2.5 ya que ambos inventarios se corresponden con los procesos actuales y se emplea el mismo sustrato. La diferencia radica en el consumo de colorante, que en el caso del gris es 1,85 g/ m de tela.

2.6 Evaluación del impacto ambiental del teñido del tejido poliéster-algodón

Se empleó la metodología ReCiPe End point mediante el uso del software SimaPro 8.0 para la evaluación del impacto ambiental. Para la conformación de los inventarios los resultados obtenidos en los balances de materiales y energía son adaptados a la unidad funcional 1 metro de tela.

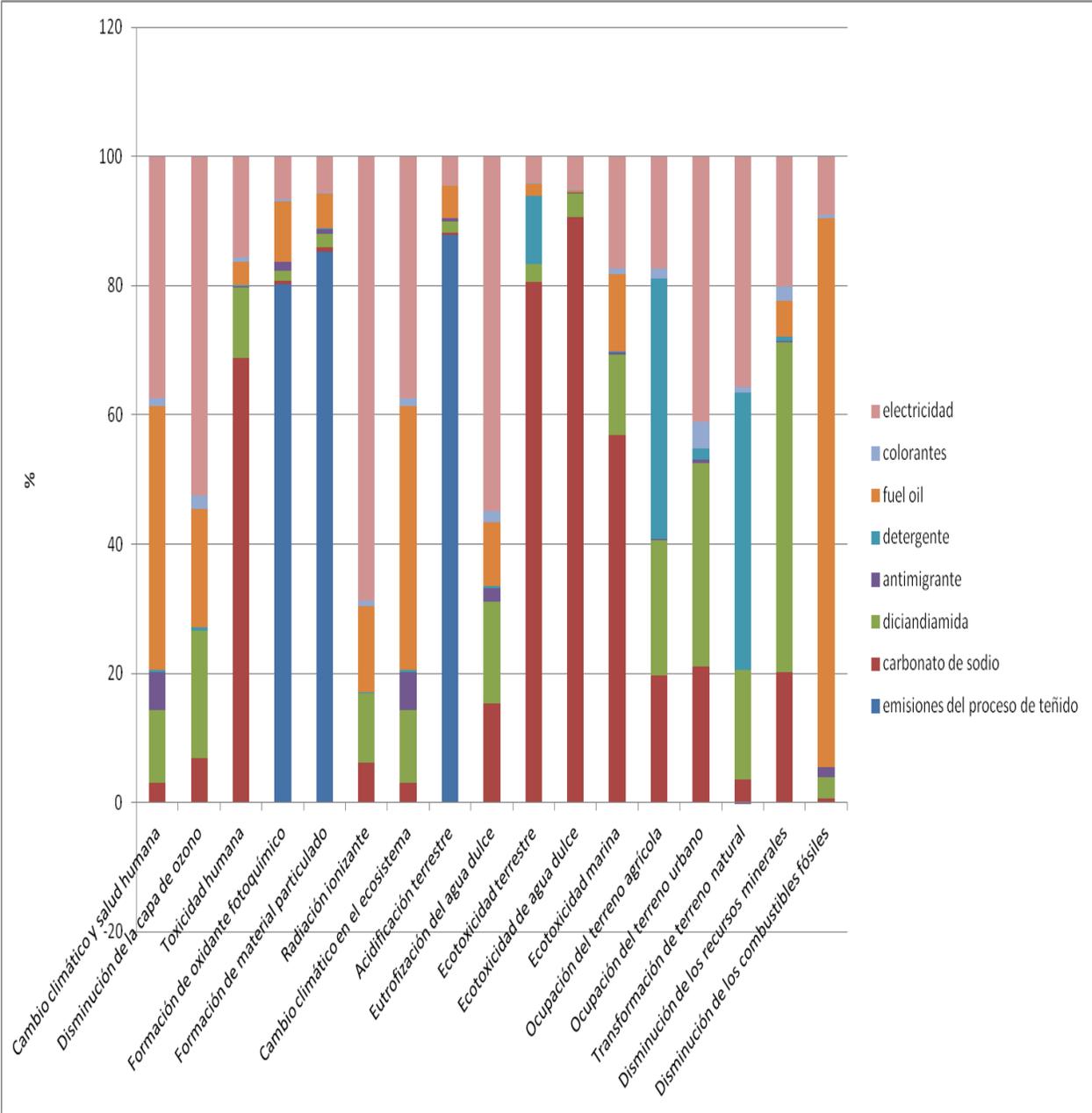


Figura # 2.2. Perfil ambiental de caracterización del teñido del tejido poliéster-algodón (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Caracterización)

La figura 2.2 ilustra la contribución de cada uno de los factores que intervienen en la producción de tejido teñido a cada una de las categorías de impacto evaluadas por el ReCiPe., donde sobresalen con por ciento de mayor afectación, las sustancias químicas que forman parte de las recetas de teñido, el consumo de combustible y las emisiones generadas.

En la representación se observa que las emisiones del propio proceso de producción relacionadas con la combustión del crudo contribuyen con un mayor por ciento a las categorías

formación de oxidantes fotoquímicos, formación de material particulado y acidificación terrestre. Estos resultados se asocian con las salidas de los inventarios relacionados con el SO₂ el cual: influye en la acidificación y la eutrofización (se asocia a la composición del petróleo utilizado); el polvo que tiene una repercusión visual y directa sobre la imagen y salud del entorno, los habitantes y en la formación de material particulado.

El uso de crudo cubano contribuye con mayor por ciento a las categorías cambio climático y salud humana, cambio climático en el ecosistema, disminución de la capa de ozono y combustibles fósiles.

En cuanto a las recetas de teñido, poseen diversas sustancias químicas como los colorantes, dicianidamida y carbonato de sodio que ejercen una influencia desfavorable en las categorías toxicidad humana, ecotoxicidad terrestre, marina y de agua dulce, así como la disminución de los recursos minerales. Debe hacerse un uso racional de estas sustancias químicas mediante el empleo de formulaciones que garanticen la calidad del teñido con adecuada proporción de los constituyentes de la mezcla.

En la figura 2.3 se muestra el efecto ponderado de los diferentes factores que inciden en las categorías de impacto consideradas. En el eje de las ordenadas se expresan los milipuntos (mPt). Se ratifica que las emisiones del proceso de teñido, las recetas empleadas en el mismo y el combustible fuel oil utilizado son los que provocan daños en el cambio climático y la salud humana, la toxicidad humana, formación de material particulado, cambio climático en el ecosistema y disminución de los combustibles fósiles, esta última categoría es la que alcanza un mayor valor. Los consumos de electricidad se encuentran dentro del plan establecido para esta industria y con la tecnología instalada no resulta posible su disminución.

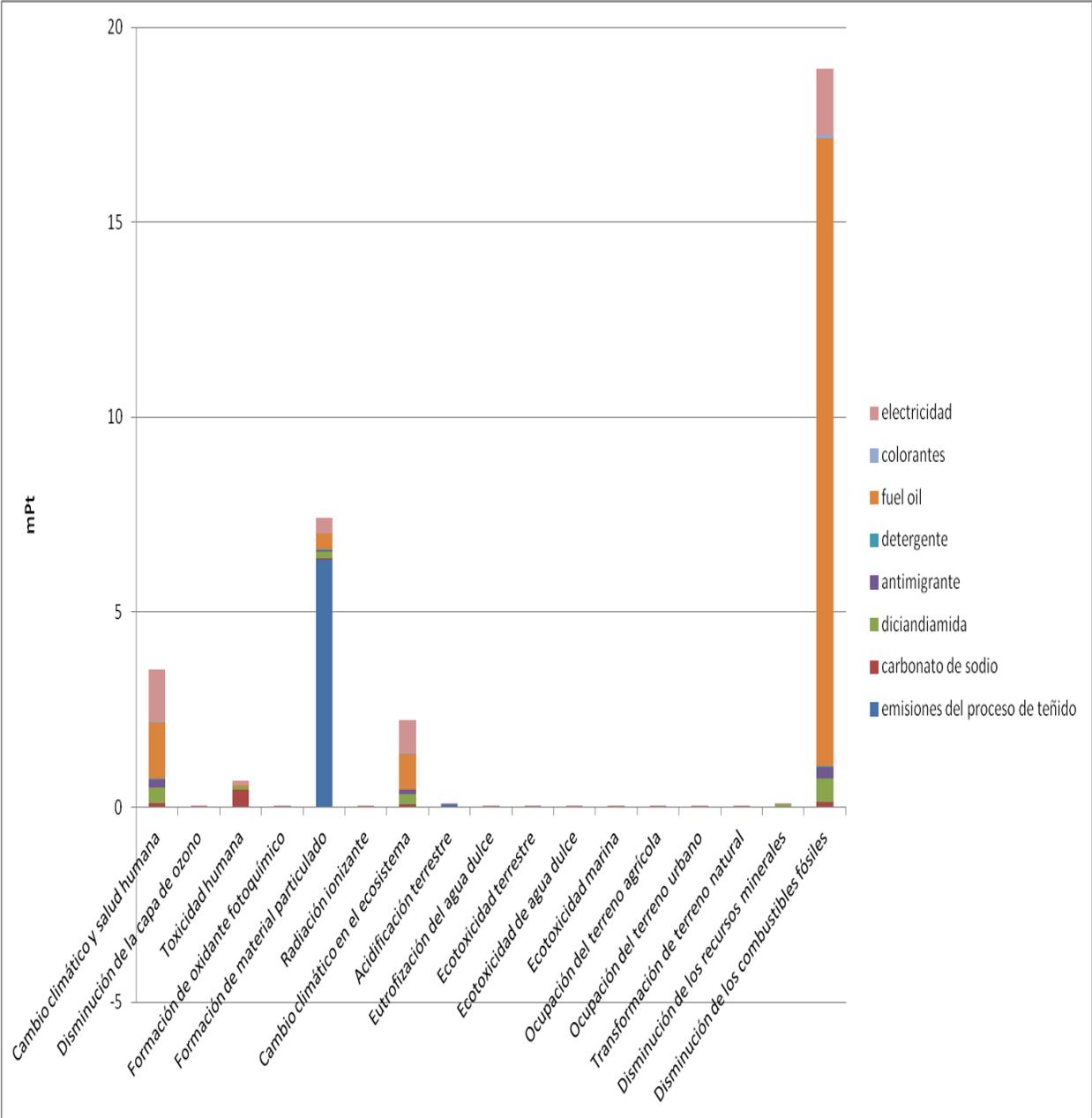


Figura # 2.3 Perfil ambiental ponderado del teñido del tejido poliéster-algodón (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Ponderación)

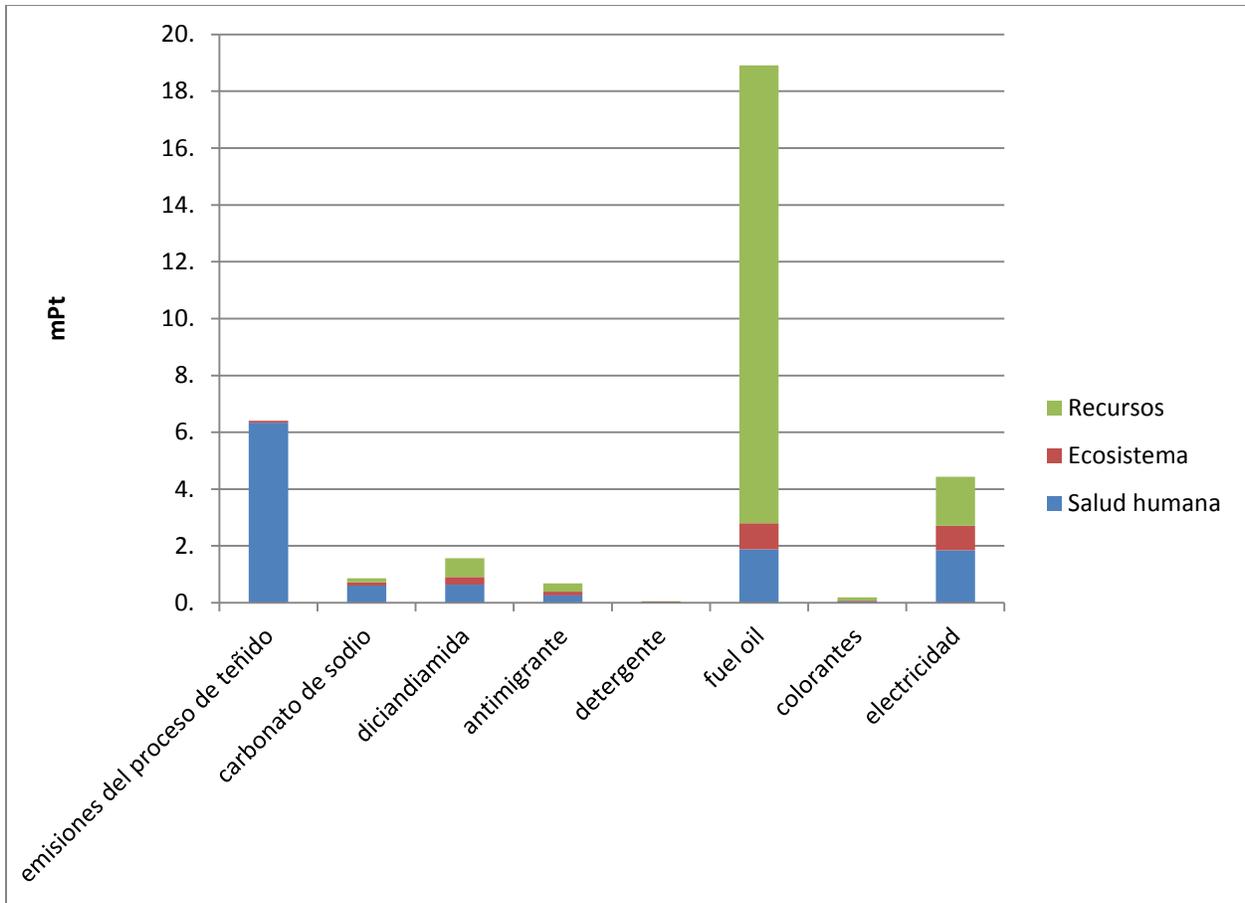


Figura # 2.4 Categorías de daño del teñido del tejido poliéster-algodón (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Puntuación única)

En la figura 2.4 se aprecia que la categoría recursos es la más afectada, como consecuencia del empleo de fuel oil, así como otras sustancias químicas como la diciandiamida y antimigrante.

La salud humana se ve influenciada por las emisiones del proceso de teñido (a las cuales corresponde el mayor valor), la receta empleada, el fuel oil y la electricidad.

El ecosistema resulta relativamente poco impactado como consecuencia del proceso de teñido. En este sentido el fuel oil y la electricidad son los que aportan cierta influencia negativa.

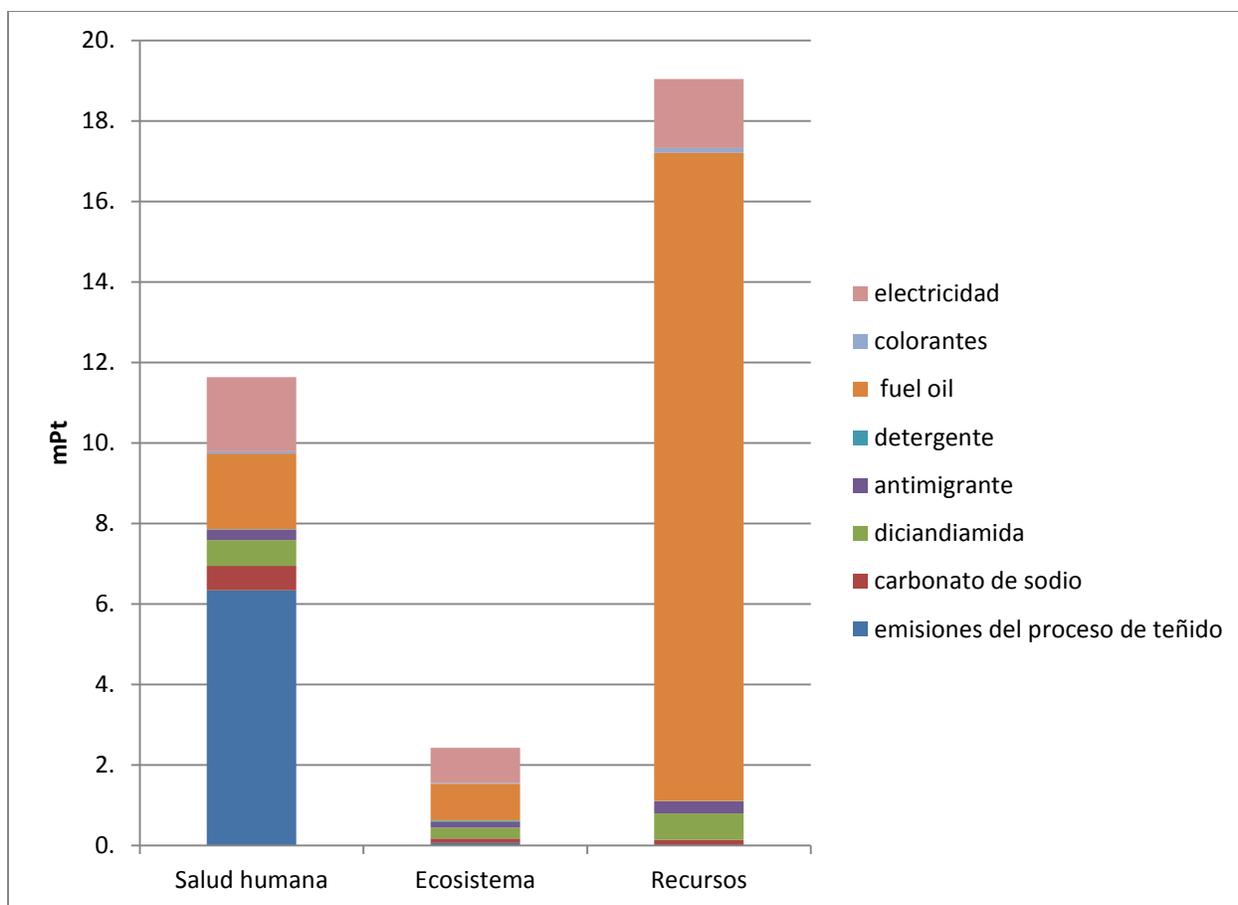


Figura # 2.5 Categorías de daño del teñido del tejido poliéster-algodón (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Ponderación)

En la figura 2.5 aparece representado cómo contribuyen a dañar la salud humana, el ecosistema y los recursos cada uno de los factores que intervienen en la realización del proceso de teñido de 1 metro de tela.

La mayor afectación la reciben los recursos, con la contribución importante que tiene el empleo de combustible no renovable. El impacto negativo más notable sobre la salud humana lo tienen las emisiones del proceso.

El proceso de teñido de la UB Desembarco del Granma presenta aspectos que pueden ser mejorados puesto que las proporciones de las recetas de teñido así como la implementación de las mismas a escala industrial requieren un acercamiento a las condiciones óptimas.

Conclusiones Parciales

1. El consumo de soluciones de colorantes en el taller de teñido depende de la referencia que se vaya a procesar y de la formulación con que se logre la igualación de color.
2. El consumo de agua total en la línea de teñido es de 40,9 m³/h.

3. Se determinó, con ayuda del programa Sima pro 8.0 (método ReCiPe) que las emisiones del propio proceso de producción relacionadas con la combustión del crudo contribuyen con un mayor por ciento a las categorías formación de oxidantes fotoquímicos, formación de material particulado y acidificación terrestre.

4. El uso de crudo cubano tiene mayor incidencia en las categorías cambio climático y salud humana, cambio climático en el ecosistema, disminución de la capa de ozono y combustibles fósiles.

5. Las recetas de teñido, poseen diversas sustancias químicas como los colorantes, dicianidamida y carbonato de sodio que ejercen una influencia desfavorable en las categorías toxicidad humana, ecotoxicidad terrestre, marina y de agua dulce, así como la disminución de los recursos minerales.

Capítulo 3 Medidas de Producción más Limpia

Al analizar los resultados obtenidos tras la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida a la sección de teñido, se procede a la toma de medidas de producción más limpia que permitan llevar a cabo un proceso más compatible con el medio ambiente. En este trabajo se realizan experimentos para el teñido en un solo baño de PE-CO, con colorantes dispersos-reactivos, a través de las etapas tecnológicas: impregnado-secado-termosol- lavado-secado, simuladas a escalada de laboratorio y complementadas con evaluaciones a escala industrial, con el equipamiento instalado en la UB “Desembarco del Granma”.

3.1 Optimización del proceso de teñido en un baño del tejido poliéster-algodón con el empleo del Color Matching mediante estudios experimentales a nivel de laboratorio

Se realizaron experimentos, a escala de laboratorio, para la igualación del color, con el equipo color matching, para la optimización de las recetas. El sustrato empleado fue el tejido poliéster algodón de referencia 20-23-812, el cual se tiñó con las recetas optimizadas para lograr los colores 2-922-3 y 2-804-3. En esta notación el primer número (2) significa el tipo de tejido (poliéster-algodón); el número intermedio representa el color, en este caso 922 es gris y 804 es beige y el tercer número (3) significa teñido medio en un baño. El color 2-922-3 es de alta demanda para la fabricación de uniformes de guarda-bosques y el 2-804-3 tiene como destino la empresa Universal Habana.

Con el empleo del color matching se optimizó la receta de teñido. Se tuvo en cuenta que es necesario igualar primero el disperso en la fibra de poliéster y luego el reactivo, para el algodón. Se desarrollaron dos alternativas: la primera consistió en igualar disperso añadiéndole carbonato de sodio y posteriormente igualar reactivo y la otra alternativa, igualar disperso sin añadirle carbonato de sodio y luego igualar reactivo con el carbonato de sodio incluido.

3.1.1 Obtención de la receta a nivel de laboratorio para el color 2-922-3

Anteriormente el color 2-922-3 se había obtenido con una receta que incluía el colorante trisetile yellow 3GL, el cual se agotó. Según la experiencia de los técnicos del laboratorio de acabado, se recomendó sustituirlo por synolon yellow SE-4G, el cual no se encontraba en la base de datos del equipo y se procedió a introducirlo. Fue necesario teñir las fibras de poliéster con las soluciones de diferentes concentraciones de colorante sugeridas por el fabricante del equipo (1, 3, 10, 20, 30, 40 y 50 g/L). Dichas soluciones contienen además 5g/L de antimigrante, 1g/L de dispersante y 0,3 g/L de humectante en cada caso, se termofijaron a 200°C y posterior a su secado, se introdujeron en el equipo, el cual construye las curvas de los colorantes y estos quedan registrados en su base de datos.

Se incorporaron en el equipo un conjunto de colorantes dispersos que, según el criterio de los expertos del laboratorio, pueden combinarse para dar como resultado el color deseado. El equipo procesó la información y reflejó dentro de las recetas sugeridas la óptima con la cual se preparó la solución para teñir el sustrato. Esta solución fue utilizada para obtener dos posibles recetas para el teñido del poliéster: una receta donde se añadió carbonato de sodio y otra donde se igualó el disperso sin adicionar carbonato de sodio. Posteriormente se procedió a igualar el colorante reactivo en cada caso. Así se lograron obtener las recetas optimizadas para cada variante y con ello el color final. Cada receta contiene además los productos auxiliares en la proporción requerida. Los resultados se muestran en la tabla 3.1. En la figura 3.1 se observa una foto de la pantalla del equipo, donde se ve que con una corrección de la receta que ya incluye el reactivo, cuyo disperso fue igualado previamente con carbonato de sodio, se obtiene el color final.

Tabla # 3.1 Receta óptima obtenida para el color 2-922-3 con el empleo del color matching.

Clasificación del colorante	Nombre del colorante	Concentración g/L	
		Disperso igualado con carbonato	Disperso igualado sin carbonato
Disperso	Bemacrón Rubí RS	0,07	0,09
	Synolon Yellow SE-4G	0,31	0,25
	Synolon Black SE- NF	2,72	3,38
Reactivo	Synocrón Brown PGR	0,93	0,65
	Synocrón Navy Blue P-2R	2,99	2,74
	Triactive yellow P-5 GN	2,73	3,42

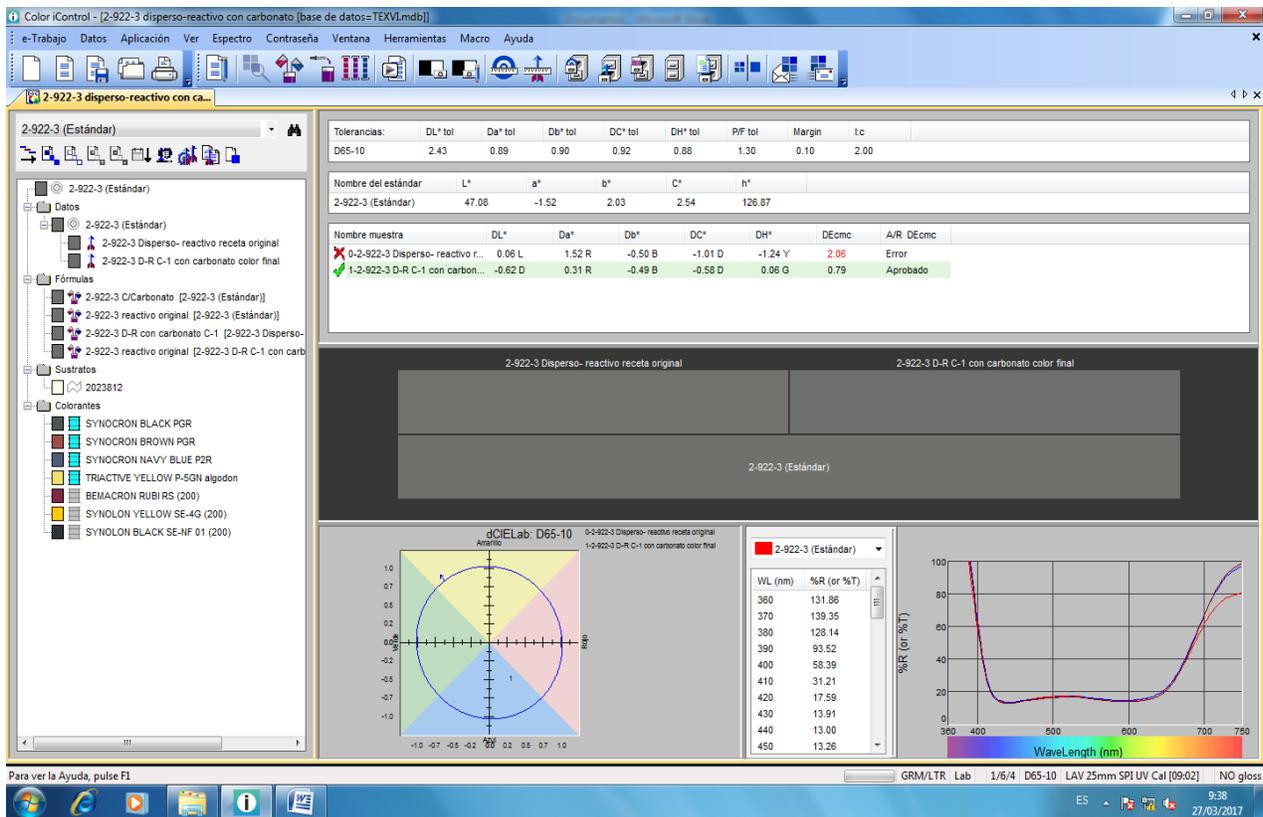


Figura # 3.1 Representación de la pantalla del color matching donde se muestra la receta optimizada para el color 2-922-3.

3.1.2 Obtención de la receta a nivel de laboratorio para el color 2-804-3

Se procedió de forma similar a lo explicado en el epígrafe anterior, porque ambos colores se clasifican en la categoría de claros y medios y las recetas obtenidas se aplicaron en un baño sobre el sustrato. En la tabla 3.2 se refleja la receta obtenida para el color 2-804-3.

Tabla # 3.2 Receta óptima obtenida para el color 2-804-3 con el empleo del color matching

Colorante	Concentración g/L	
	Disperso con carbonato	Disperso sin carbonato
Bemacrón Rubí RS	0,23	0,23
Synolon Yellow SE-4G	0,9	0,84
Trisetile Navy blue B 280	0,26	0,25
Synocrón Gold yellow P2R	0,53	0,68
Synocrón Navy Blue P-2R	0,5	0,48
Synocrón Red PBN	0,14	0,13

3.2 Validación de las recetas obtenidas a nivel industrial

Para cada color, se realizaron réplicas de las recetas obtenidas en el laboratorio antes de enviar la propuesta final para la línea de producción. Para decidir cuál de las variantes aprobadas en cada caso se debía seleccionar se tuvieron en cuenta criterios técnico-económicos. Las recetas obtenidas cuando se le añade carbonato de sodio a los colorantes dispersos resultaron igualadas con más facilidad que las que no tenían el carbonato de sodio presente en el momento de igualar el disperso. En el anexo IV aparecen los precios de los colorantes que se utilizan en la obtención de los colores 2-922-3 y 2-804-3. En la tabla 3.3 se muestran los costos para cada una de las recetas. Se tuvo en cuenta la cantidad de tejido a procesar según la demanda, en el caso del color 2-922-3 fue de 8000 m y en el 2-804-3 de 3300 m.

Tabla # 3.3 Costo de los colorantes en cada receta para los colores 2-922-3 y 2-804-3.

Color	Costo de los colorantes (CUC)	
	Disperso igualado con carbonato	Disperso igualado sin carbonato
2-922-3	168,82	176,17
2-804-3	17,16	17,3

Por tanto se decidió enviar las recetas cuyo disperso fue igualado con carbonato para que fuera teñido el sustrato a escala industrial, por poseer menor costo y haber logrado la igualación del color con menos correcciones.

3.2.1 Análisis de los resultados obtenidos cuando se implementaron las recetas a nivel industrial

Cuando se realizan cambios en las recetas de teñido, debido a la necesidad de sustituir un colorante porque no esté disponible o por modificaciones que impliquen mejoras económicas, es necesario llevar a cabo pruebas preliminares a nivel industrial que permitan comparar si el color obtenido en esta escala mayor se corresponde con el deseado. Al aplicar este procedimiento a la receta obtenida para el color 2-922-3 fue necesario realizar una sola corrección a la receta original con el fin de obtener el color solicitado por el cliente. Cabe mencionar algunas fallas en el equipamiento las cuales pueden haber contribuido a que en la primera corrida no se lograra el color esperado. El color 2-804-3 no requirió ninguna corrección, pues del primer intento fue aprobado el color obtenido a nivel industrial, tanto por el equipo color matching (que reflejó un error de 0,95 el cual es inferior a 1,3 que es el máximo establecido para que un color sea aceptado, lo que se observa en la figura 3.2), como por los

coloristas del laboratorio de acabado, quienes recurrieron a la evaluación visual (que es lo que tradicionalmente se realiza).

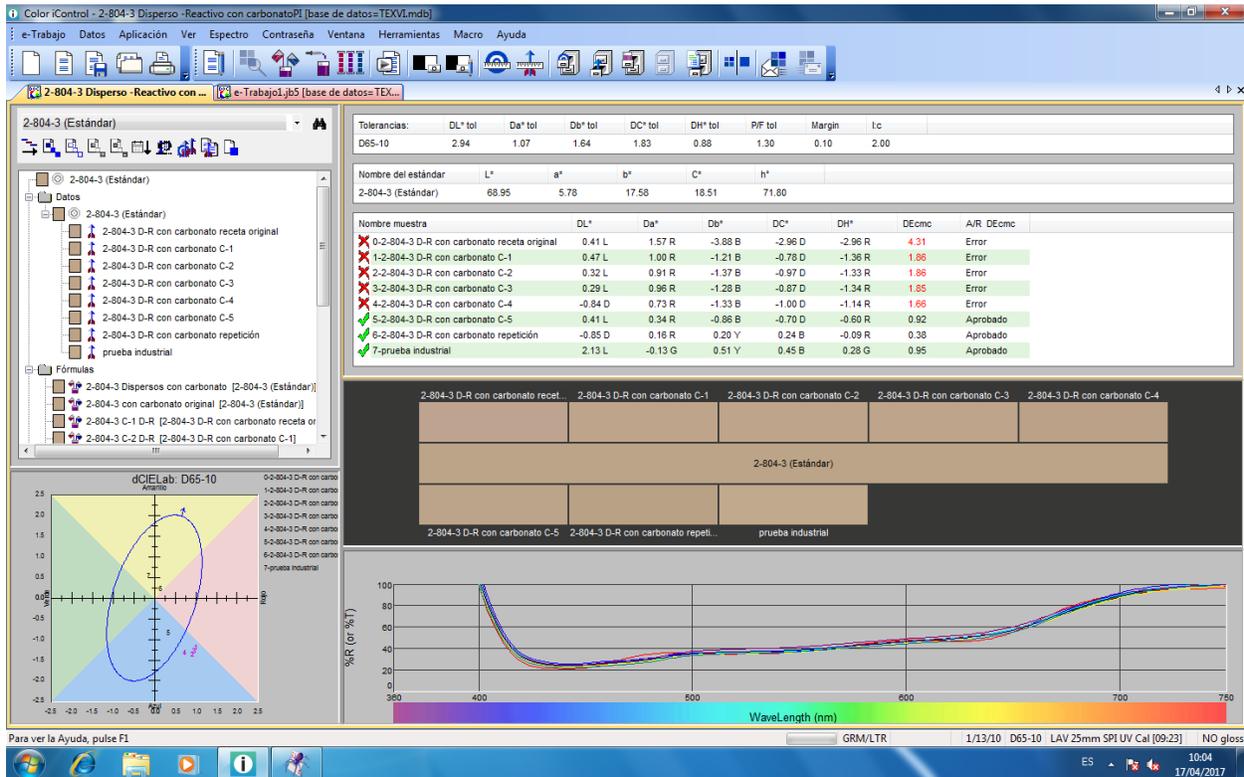


Figura # 3.2 Representación de la pantalla del color matching donde se muestra la receta optimizada para el color 2-804-3, así como la aprobación a nivel industrial.

En ocasiones anteriores, al realizar estas pruebas preliminares, ha sido necesario llevar a cabo hasta tres correcciones. El costo de cada prueba es de \$44,97 (González, 2016) por lo que en este caso se ahorraron \$ 224,85 al evitarse cinco correcciones industriales.

Una vez garantizada la obtención del color deseado se procedió en cada caso a obtener todo el tejido teñido para satisfacer la demanda existente.

En el anexo V aparecen los avales otorgados a esta investigación luego de su aplicación a nivel industrial.

3.3 Disminución del impacto ambiental de la quema de combustible fósil

3.3.1 Empleo del aditivo anticorrosivo Adi3tek

Según el estudio realizado (Núñez, 2017) el petróleo empleado como combustible en la caldera y en los calentadores de aceite presenta contenidos de azufre superiores al 3%, lo que ocasiona impactos negativos al provocar corrosión de las tuberías y el equipamiento, así como la probabilidad de originar lluvias ácidas por la formación de ácido sulfúrico. En la tabla 3.4 se muestran algunas de sus propiedades.

Tabla # 3.4 Características del petróleo empleado

Indicadores	Unidad de medida	Especificaciones
Punto de inflamación	°C	67 mínimo
Densidad	Kg/m ³	982 máximo
	API	15
Valor Calórico	Kcal/kg	9600 mínimo
Azufre	%	3,5 máximo
Carbón Conradson	%	17 máximo
Asfáltenos	%	13 máximo

En estos momentos no es posible cambiar el combustible por otro de mejor calidad por lo que se recomienda el empleo del aditivo ADI3TEK. Entre los beneficios que proporciona el uso de ADI3TEK están la reducción del consumo de combustible y aire en exceso, así como las emisiones CO_x, NO_x, SO_x, hollín y la formación de nieblas ácidas (Sánchez, 2015).

Pruebas de campo y laboratorio han demostrado que la dosificación óptima es de 1 litro de Adi3tek por tonelada métrica de combustible fósil sólido o 1000 litros de combustible líquido o alterno (Aditivos y Energéticos, 2013). En este caso se trata de un combustible líquido por lo que la dosis a emplear será 1 litro de Adi3tek por 1000 litros de combustible.

El sistema de recepción de petróleo de la textilera cuenta con un cabezal de recepción que tiene siete tomas con mangueras para la descarga por rastras. Para trasiego desde el vehículo hasta los tanques de almacenamiento se dispone de cuatro bombas de engrane tipo KSP-30-160 del fabricante Daito Kogyo. Cada caldera posee una estación de bombeo y calentamiento de petróleo. Las bombas succionan del tanque de servicio y envían el petróleo a través del calentador hasta el quemador. Los calentadores son dos: uno eléctrico para arranque en frío y otro a vapor. Cada estación de bombeo y calentamiento tiene dos bombas de tornillos de las siguientes características: tipo GH-2T-42, fabricante Kosaca Laboratory.

El ADI3TEK se suministra de forma tal que se garantice un mezclado homogéneo con el crudo, permitiendo que actúe sobre el mismo de manera eficiente. Su inyección al sistema es recomendada de tal forma que se logre un contacto íntimo entre el aditivo y el combustible, que permita asegurar una reacción efectiva a nivel molecular en la cámara de combustión.

Inicialmente el aditivo se almacena en tanques de 1 m³ de capacidad, los que se conectan a una bomba dosificadora electromagnética LMI C Dosificador de membrana rígida Tecnología DSD de motor de membrana, encargada de inyectar el aditivo hacia el tanque de servicios. Se suministra una dosis continua de 1,558 L/h que garantiza, según el consumo de combustible diario, la dosis de 1/1000 L recomendada por el fabricante. En la figura 3.3 se muestra la

representación del esquema de alimentación del combustible al generador de vapor con la inclusión del aditivo Adi3tek.

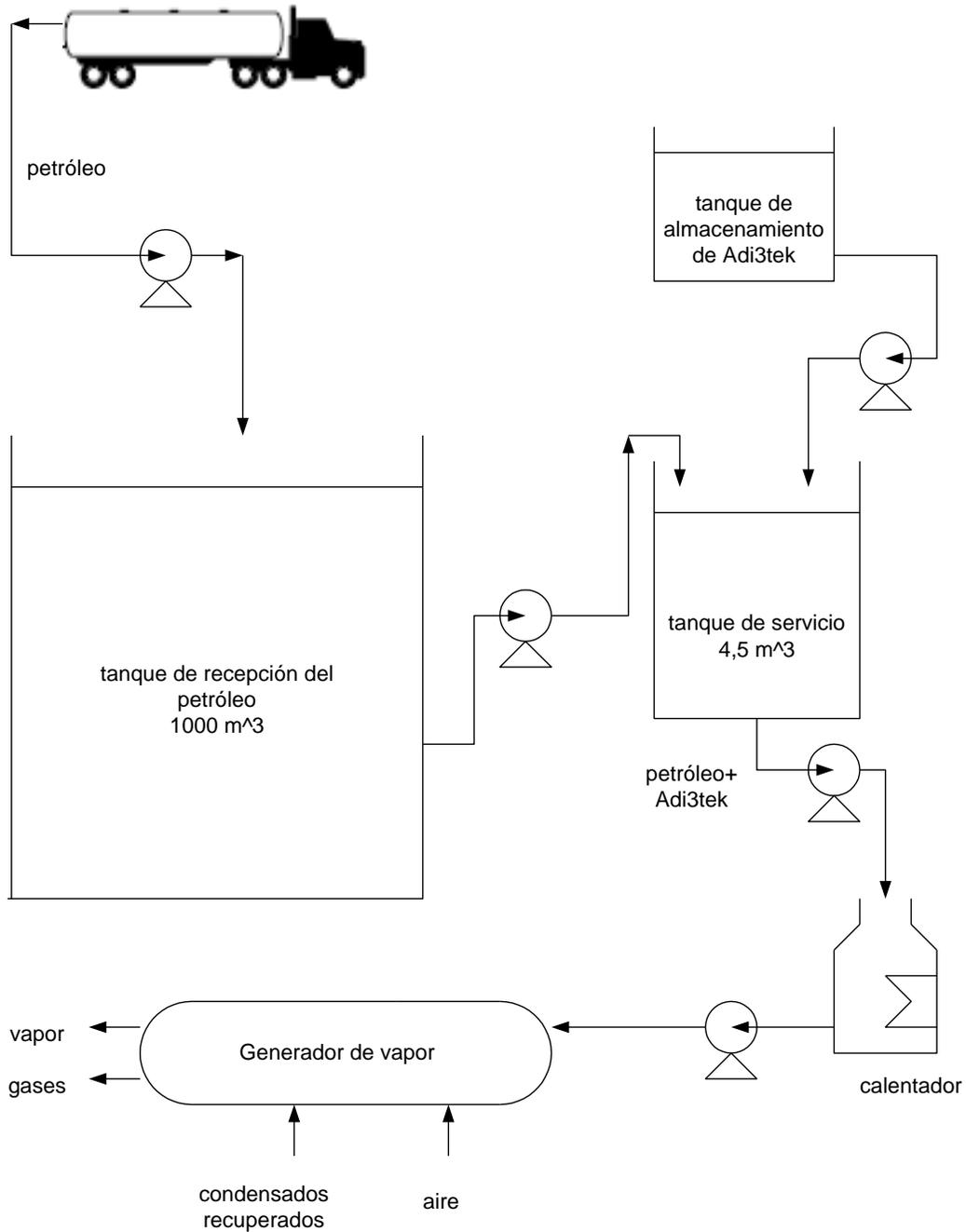


Figura # 3.3 Esquema de alimentación del combustible al generador de vapor con la inclusión del aditivo Adi3tek

Se realizó un estimado del costo de la inversión requerida para modificar el sistema de alimentación del combustible al generador de vapor. El nuevo equipamiento incluirá: tanque

para el almacenamiento del aditivo, una bomba dosificadora, 15 metros de tubería y 2 codos de 90°.

En la tabla 3.5 se muestra el costo de adquisición del equipamiento. Se utilizó la metodología del Peters y se estimó el costo de inversión según la tabla 17 (Peters, 1991), el cual aparece reflejado en la tabla 3.6.

Tabla # 3.5 Costo del equipamiento necesario para adicionar el aditivo al combustible

Equipo	Costo original \$	Costo actualizado \$
Tanque para almacenar Adi3tek	4000	6516,85
Bomba	435	435
Tubería	123	200,44
Codos	20	32,58
Costo total del equipamiento	4578	7184,87

Tabla # 3.6 Costo de inversión para la inclusión del aditivo al combustible

Costo total del equipamiento (\$)	7184,87
Costo de instalación del equipamiento (\$)	2802,10
Instrumentación y control (\$)	934,03
Tuberías instaladas (\$)	2227,31
Facilidades y servicios (\$)	3951,68
Costos totales directos (\$)	17100
Ingeniería y supervisión (\$)	2299,16
Costos totales indirectos (\$)	2299,16
Contingencia (\$)	2586,55
Capital de trabajo (\$)	5316,81
Inversión (\$)	27302,51

El costo del aditivo es de 24,70 \$/L. Se logra compensar el costo financiero del uso del aditivo, teniendo solamente en cuenta los ahorros por conceptos de aumento de eficiencia energética en el sistema de generación de vapor (Sánchez, 2015).

La inversión tendrá una repercusión positiva ya que permitirá minimizar las emisiones de COx, NOx, SOx lo que beneficiará la calidad del aire de la zona donde se encuentra ubicada la textilera.y por lo tanto se disminuirán los daños a la salud humana.

3.3.2 Aislamiento de las tuberías conductoras de vapor

Se propone recubrir la tubería conductora de vapor en los tramos donde hay dificultad con el aislante. Se selecciona el amianto por ser el utilizado en la textilera. El precio del aislante es 93 \$/kg. La conductividad del amianto es 0,151 W/m²°C. El vapor tiene una presión de 6 kgf/cm² y una temperatura de 158,09°C. El diámetro exterior de la tubería es de 0,168 m. Se calculó el espesor económico del aislante el cual es de 0,08 m, porque con ello se garantiza un costo mínimo según aparece en la tabla 3.7.

Tabla # 3.7 Cálculo del espesor económico del aislante

T1 supuesta (°C)	espesor (m)	A(m ²)	Cf(\$/a)	T1≈T1sup±3°C	Co(\$/a)	Ct(\$/a)
75	0,02	0,01	3,96	74,67	88,60	92,56
56	0,04	0,03	8,76	56,21	59,34	68,11
48	0,06	0,04	14,41	47,51	46,54	60,95
43	0,08	0,06	20,90	42,54	39,18	60,07
39	0,1	0,08	28,23	39,39	34,34	62,57
37	0,12	0,11	36,40	37,17	30,91	67,31
35	0,14	0,14	45,42	35,58	28,33	73,75
34	0,16	0,17	55,27	34,35	26,32	81,60
33	0,18	0,20	65,98	33,41	24,70	90,67
32	0,2	0,23	77,52	32,67	23,36	100,88
32	0,22	0,27	89,91	32,04	22,23	112,14

Los resultados de los cálculos correspondientes a la determinación del calor antes y después de utilizar el aislante aparecen en la tabla 3.8 y el ahorro de combustible se muestra en la tabla 3.9.

Tabla # 3.8 Resultados de los cálculos de la determinación del calor

ha (W/m ² °C)	D(m)	L(m)	ts(°C)	Q sin aislante(W)	Q(con aislante) (W)
10,232	0,168	3	158,09	2122,75	492,25

Tabla # 3.9 Ahorro de combustible al emplear el aislante

combustible gastado (kg/s)	combustible gastado con tubería aislada (kg/s)	costo del combustible (\$/año)	costo del combustible con tubería aislada (\$/año)	ahorro de combustible (\$/año)
4,92E-05	1,14E-05	152,99	35,48	117,51

Al aislar los tramos de tuberías que no tienen su aislamiento en buen estado se logra un ahorro de 117,51 \$/ año por concepto de combustible dejado de consumir.

3.4. Inventarios del proceso después de optimizar la receta de teñido

En la tabla 3.10 se expresan los resultados de los inventarios de proceso después de optimizar la receta y aminorar las emisiones de contaminantes. Se logra disminución en todos los aspectos evaluados, lo que evidencia un proceso más factible desde el punto de vista ambiental y económico.

Tabla # 3.10 Tabla de inventarios para la obtención del color beige a partir del teñido del tejido poliéster-algodón después de optimizar el proceso.

	Cantidad	unidad
Entradas		
De la Naturaleza		
Agua	0,017	m ³ / m de tela
De la Tecnosfera		
Tela blanqueada	1	m
Vapor	0,0016	t/m de tela
Electricidad	0,04	kW/m de tela
Carbonato de sodio	1,54	g/m de tela
Diciandimida	3,08	g/m de tela
antimigrante	0,77	g/m de tela
detergente	0,08	g/m de tela
Colorantes	0,39	g/m de tela
Salidas		
Producto		
Tela teñida	1	m
Emisiones al aire		
SO ₂	3,18	g/m de tela
SO ₃	0,12	g/m de tela

NOx	0,95	g/m de tela
Material particulado	0,19	g/m de tela
Emisiones al agua		
DQO	25,34	mg/m de tela
DBO ₅	15	mg/m de tela

Se obtuvieron los inventarios para el teñido del tejido poliéster- algodón para lograr el color gris en un baño, con la receta optimizada. Los valores resultantes se comportan de manera similar a los determinados para el color beige. El consumo de colorantes en el caso del gris disminuye a 1,53 g/m de tela.

Al comparar el impacto que ejerce al medio ambiente el teñido con el color gris con respecto al del color beige, el aporte de colorantes es mayor en el caso del gris, debido a las características propias del color que se quiere lograr para responder a las necesidades del cliente.

3.5 Comparación del impacto ambiental del proceso de teñido antes y después de optimizar la receta

En la figura 3.4 se muestra el beneficio ambiental logrado al optimizar la receta para el color beige. Se logra disminución en todas las categorías de impacto, se representa que las más beneficiadas con el proceso optimizado son: cambio climático y salud humana, toxicidad humana, formación de material particulado, cambio climático en el ecosistema y disminución de los combustibles fósiles resultando diferencias de 1,1; 0,21; 2,32; 0,7 y 5,90 mPt respectivamente para los procesos sin y con optimizar la receta de teñido.

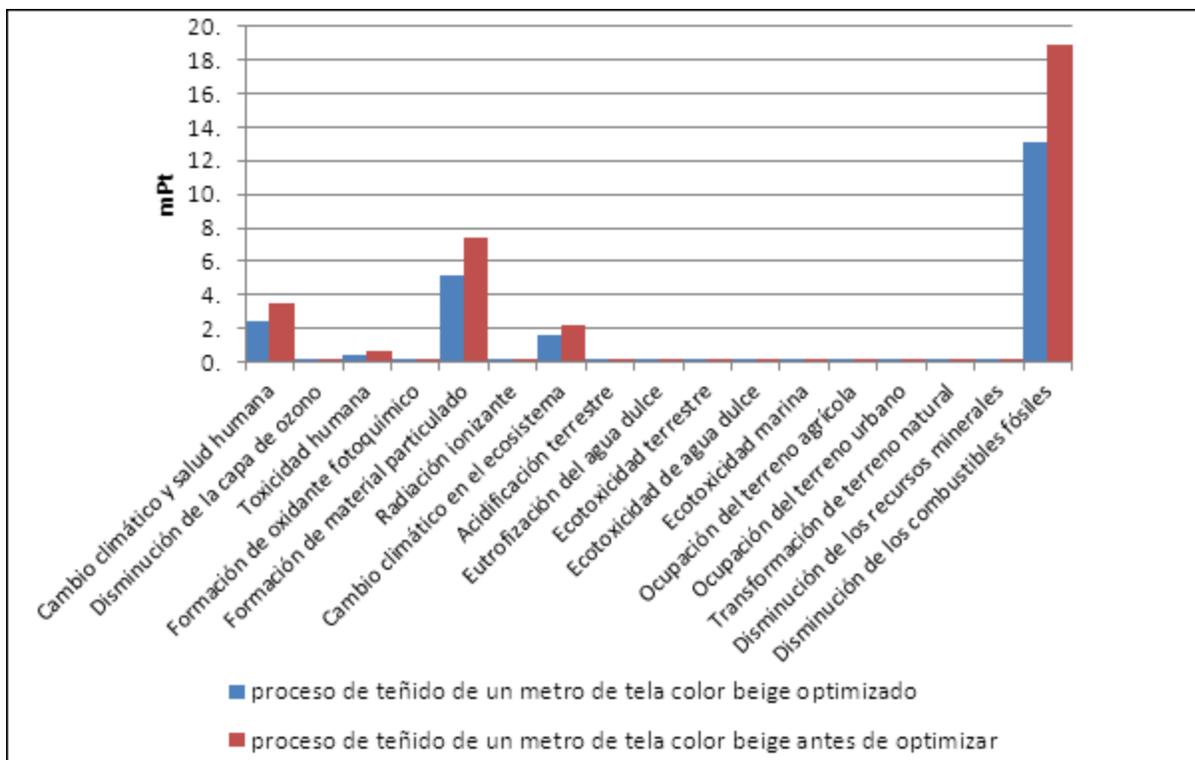


Figura # 3.4 Comparación en categorías de impacto del proceso de teñido de un metro de tela beige antes y después de optimizar la receta (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Ponderación)

Si se comparan las tres categorías de daños, los recursos resultan los más afectados lo que se aprecia en la figura 3.5. Se evidencia que con la optimización de la receta se logra una mejora ambiental que repercute en una disminución de la afectación a esta categoría en un 31,12 %, lo que se corresponde con 5,9 mPt menos. En el caso de la salud humana el proceso sin optimizar presenta 3,63 mPt más que el proceso optimizado mientras que para la categoría ecosistema la diferencia es de 0,76 mPt. Esto se traduce desde el punto de vista económico en ahorro de combustible, productos químicos y de agua; este último se indica en la tabla # 3.11.

Tabla # 3.11 Ahorro de agua al optimizar las recetas de teñido.

Aspecto	cantidad	unidad
Agua consumida en el proceso optimizado	0,017	m ³ /m de tela
Agua consumida en el proceso no optimizado	0,024727	m ³ /m de tela
agua ahorrada	0,007727	m ³ /m de tela
precio del agua	0,85	\$/m ³
Dinero ahorrado	0,006568	\$/m de tela

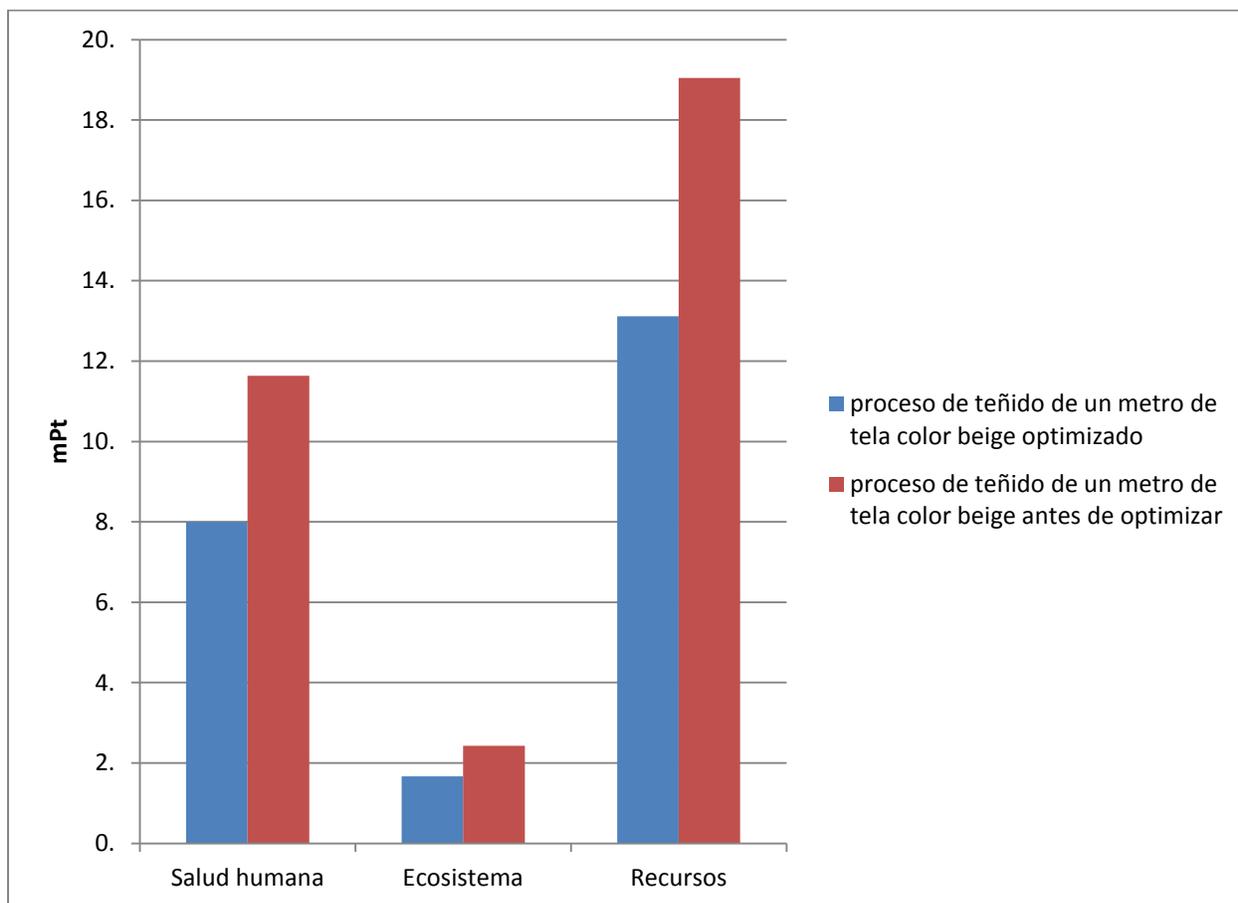


Figura # 3.5 Comparación en categorías de daños del proceso de teñido de un metro de tela beige antes y después de optimizar la receta (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Ponderación)

En la figura 3.6 se representa la contribución total que ejercen los factores analizados en los procesos de teñido de tejido poliéster algodón con el color beige, antes y después de optimizar las recetas. De los daños ocasionados, el mayor impacto negativo se aprecia sobre los recursos. Se observa una disminución de 10,32 mPt, lo cual demuestra la factibilidad ambiental de la aplicación de las recetas optimizadas.

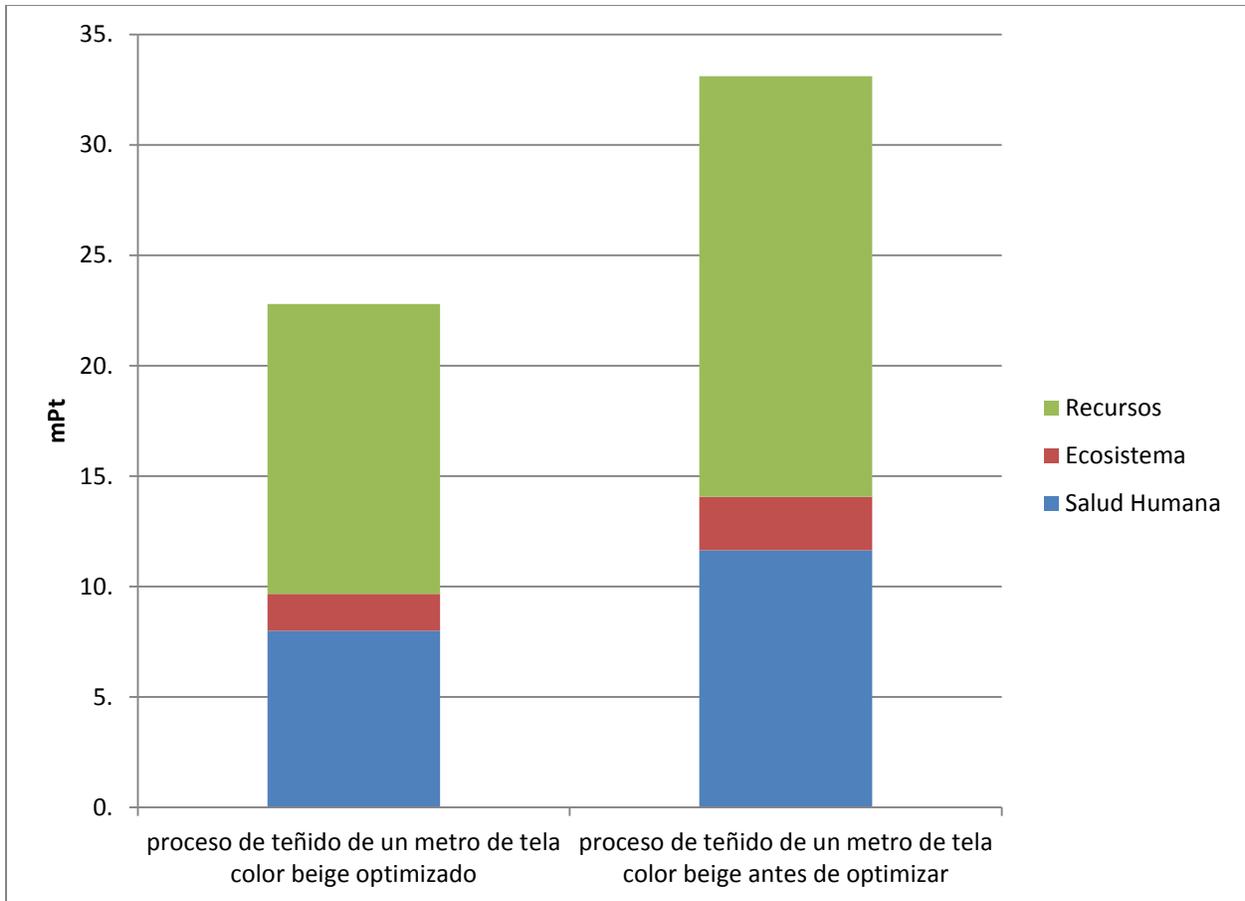


Figura # 3.6 Comparación del proceso de teñido de un metro de tela beige antes y después de optimizar la receta (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Puntuación única)

En el caso del color gris se realizó una evaluación siguiendo la misma metodología. En la figura 3.7 se observa que la tendencia es similar a la manifestada en la figura 3.4 para el color beige. Se representa que las categorías más beneficiadas con el proceso optimizado son: cambio climático y salud humana, toxicidad humana, formación de material particulado, cambio climático en el ecosistema y disminución de los combustibles fósiles resultando diferencias de 0,45; 0,09; 0,92; 0,29 y 2,39 mPt respectivamente para los procesos sin y con optimizar la receta de teñido.

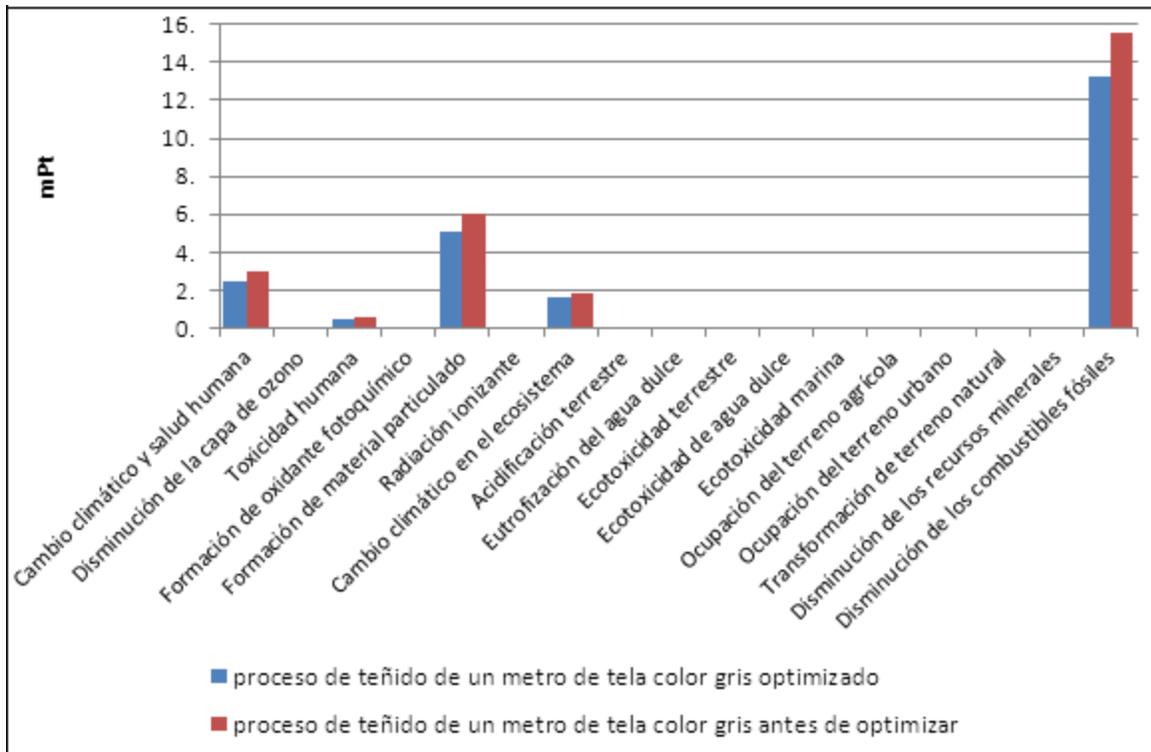


Figura # 3.7 Comparación en categorías de impacto del proceso de teñido de un metro de tela gris antes y después de optimizar la receta (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Ponderación)

3.6 Impacto económico de las medidas de producción más limpia

En la tabla 3.12 aparece un resumen del impacto económico de las medidas de producción más limpia aplicadas. Se evitan daños al medio ambiente al disminuir los consumos de agua y combustible fósil.

Tabla # 3.12 Resumen del impacto económico de las medidas de producción más limpia aplicadas

Medida	Costo	Concepto	Ahorro /Daño evitado al medio ambiente	Concepto
Optimización de la receta	1720 \$/ año	Empleo del equipo color matching	Se ahorraron \$ 224,85 por evitar los reprocesos; lo que equivale a dejar de gastar	Al realizar el teñido a escala industrial con las recetas optimizadas.

			9713,52 \$/año.	
Aislamiento de tuberías	60,07\$/año	Costo del aislamiento	117,51\$/año	Se disminuyen las pérdidas de calor y se ahorra combustible
Empleo de aditivo ADI3TEK	Precio del aditivo 24,7 \$/L Costo de la inversión \$ 27302,51	Se emplea 1 litro de Adi3tek por 1000 litros de combustible.	345 \$/año	Ahorro por evitar la reposición de tuberías por corrosión. En el anexo VI Costo del daño ambiental por contaminante

Conclusiones parciales

1. Se lograron optimizar las recetas el proceso de teñido del tejido poliéster-algodón en un baño para lograr los colores 2-922-3 y 2-804-3, con el empleo del Color Matching mediante estudios experimentales a nivel de laboratorio.
2. Las recetas cuyo disperso fue igualado con carbonato de sodio presentaron un costo más bajo que las que el disperso no incluía esta sal y se logró la igualación del color con menos correcciones por lo que fueron seleccionadas para hacer la prueba industrial.
3. Se aplicaron las recetas obtenidas a escala industrial satisfactoriamente y con ello se pudieron ahorrar \$ 224,85 al evitarse cinco correcciones industriales.
4. Al optimizar las recetas de teñido se ahorraron 7,7 L de agua / m³ de tela.
5. Al aislar los tramos de tuberías que no tienen su aislamiento en buen estado se logró un ahorro de 117,51 \$/ año.
6. Se propuso el empleo del aditivo ADI3TEK para minimizar los daños provocados por las emisiones del generador de vapor y aumentar la eficiencia del mismo.
7. Existió disminución en todas las categorías de impacto y de daño en el proceso optimizado con respecto al proceso sin optimizar.

Conclusiones

1. El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta útil para la definición de prioridades y diseño de procesos y productos, selección y evaluación de indicadores ambientales relevantes de rendimiento en el proceso textil.
2. Al aplicar la metodología RECIPE se determinó que, en la categoría de daños, los recursos resultaron los más impactados por el proceso de teñido, donde el consumo de combustible fósil y el agua tienen un papel primordial.
3. Los resultados del ACV posibilitaron diseñar una estrategia de producción más limpia basada en mejoras en el combustible, optimización de la receta de tenido y uso de aislantes
4. Se logra un proceso de teñido a escala industrial más sustentable ya que con la receta optimizada se ahorraron \$ 224,85 y se evitan pérdidas por gastos de combustible de 117,51 \$/ año al reponer los aislamientos que se encuentran en mal estado.
5. Para disminuir del impacto ambiental de la quema de combustible fósil se propone el empleo del aditivo ADI3TEK.
6. La ejecución de la metodología RECIPE permitió corroborar los beneficios obtenidos al aplicar las recetas optimizadas para el teñido del tejido poliéster algodón en un baño, al lograr disminuciones de las categorías de impacto evaluadas.

Recomendaciones

1. Continuar la aplicación del teñido en un baño para la obtención de colores claros medios igualando primero el disperso con carbonato de sodio.
2. Emplear el aditivo anticorrosivo Adi3tek para disminuir el impacto negativo de la quema de fuel oil.
3. Aislar los tramos de tuberías que presenta déficit de aislamiento.

Bibliografía

- ADITIVOS Y ENERGÉTICOS, S. A. D. C. V. 2013. Adi3tek®. México.
- ALONSO, F. 2015. Manual control de calidad en productos textiles y afines. Madrid.
- ALLEN, S. 2005. Decolourisation of water/wastewater Using adsorption. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40 (3), 220.
- ANGULO, M. 2008. *Análisis del cluster textil en el Perú*. Ciencias técnicas, UNMSM.
- ARRIAGA, L. 2005. *DETERMINACIÓN DE TRICROMÍAS PARA TEÑIR POLIÉSTER BASÁNDOSE EN LAS CURVAS DE AGOTAMIENTO DE COLORANTES DISPERSOS*. INGENIERO QUÍMICO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- BENAVIDES, V. 2015. *Diseño del plan de gestión ambiental para la industria textil aritex de colombia S.A.* Ingeniero Ambiental, Universidad autónoma de Occidente.
- BOLAÑOS, R. 2010. *PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA TEXTIL*. INGENIERO QUÍMICO, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
- BROADBENT, A. 2001. *Basic Principles of Textile Coloration.*, Inglaterra, Thanet Press Ltd.
- CASTILLO, L. 2015. *Análisis del Ciclo de Vida de la producción de cemento en la fábrica de Siguaney. Propuestas de mejoras*. Ingeniero químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- CITMA 1996. Estrategia Nacional ambiental (folleto). . La Habana.
- CORTÉS, M. 2009. *Elaboración de bases de datos para colorantes de alta solidez en el laboratorio de la tintorería de coats cadena Pereira S.A.* Tecnólogo Químico, Universidad tecnológica de Pereira
- CHORRO, E. 2013. *Programa on-line de prácticas de colorimetría* [Online]. España: Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía Universidad de Alicante Available: <http://telcotextil.com.mx/informacion/el-color/> [Accessed 2016].
- GÓMEZ, E. 2016. El mercado de los hilados y tejidos para confección en Cuba Cuba: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en La Habana.
- GONZÁLEZ, M. 2016. *Evaluación de la incidencia de la igualación del color y la corrección de los parámetros tecnológicos en la etapa de teñido en la UB “Desembarco del Granma”*. Ingeniera Química, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- GUTIÉRREZ, M. 2003. Las emisiones atmosféricas generadas por la industria textil. *In:* (U.P.C.), B. I. (ed.). Francia.
- HENN, C. L. Y. F., J. A 1994. *Life cycle analysis and resource management*, New York, M. Hill.

IHOBE, S. 2010. Guías sectoriales de ecodiseño textil. *In: AMIENTAL, S. P. D. G. (ed.)*. Bilbao. ISO 1997. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.

KEENAN, J. 1988. *Thermodynamic Properties of water including vapor, liquid and solid phases*.

KOCHKIN, D. N. (ed.) 1981. *Acabado de los tejidos planos de algodón.*, La Habana: Editorial científico técnica.

KROSCWITZ, J. I. 1990. *Polymers, Fibers and textiles.*, Ed. Wiley Interscience.

MACKAY, M. 2015. Dyeing Cotton.

MAHMOOD, M. 2011. Removal of Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide from Air Streams by Absorption in Urea Solution. *Journal of Environmental Protection*, 2, 10.

MALDONADO, E. F. 2005. *OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TEÑIDO DE TELAS*. DOCTOR EN CIENCIAS BÁSICAS, Universidad Nacional de Quilmes.

MARTÍNEZ, P. 2004. *Alternativas Tecnológicas que Permitan Alcanzar Producciones Mas Limpias en el Establecimiento 101, Tenería "Patricio Lumumba" del Municipio de Caibarién*. Ingeniero Químico, UCLV.

METAS. 2009. *Medición de Color* [Online]. Jalisco, México. Available: www.metas.com.mx [Accessed febrero de 2017].

MORILLO, S. 2012. *PROPUESTA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (P+L) EN EL PROCESO DE TINTURADO, EN LA INDUSTRIA "TEXTILES MARÍA BELÉN" UBICADA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO*. Título de Ingeniera Ambiental Grado Académico de Tercer Nivel de formación, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

NATASCHA, M. 2013. LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane. *LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT (LCIA)*, 26.

NC:27, O. N. D. N. 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones La Habana. Cuba.

NEEDLES, H. 1986. *Textile Fibers, Dyes, Finishes and Processes*. . New Jersey: Noyes Publications.

NÚÑEZ, V. 2017. Caracterización y evaluación de la calidad del aire como resultado de las emisiones de la U.B. Textil "Desembarco del Granma", municipio de Santa Clara. .

OCAÑA, V. 2006. *Procedimiento para la valoración de la sostenibilidad energético - ambiental de estrategias energéticas* UCLV.

OEKO-TEX 2006. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad FABRICACIÓN DE TEXTILES. *Field of Textile Ecology*.

- OJEDA, J. 2011. *Remoción de color en aguas residuales industriales por biosorción con residuos agrícolas e industriales*. Máster en Ingeniería en saneamiento ambiental, UCLV.
- PANTOJA, G. 2017. Curso de superación técnica para profesionales y técnicos de la Empresa Textil "Desembarco del Granma".
- PETERS, M. 1991. *Plant design and economics for chemical engineers*. Mc Graw - Hill.
- PIÑA, S. 2007. *Decoloración biológica del colorante azul directo 2 en un filtro anaerobio/aerobio*. Tesis para optar por el grado Máster en Ingeniería Ambiental Universidad Nacional Autónoma de México.
- PNUMA. 1999. *Manual de Producción más Limpia Un Paquete de Recursos de Capacitación* [Online]. Francia. Available: <http://www.pnuma.org/industria/documentos/pmlcp03b.pdf> [Accessed 2012].
- SALVO BIANCO, L. G. M. 2009. *EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE LA FASE DE TEÑIDO EN LA PRODUCCIÓN DE UNA TEXTILERA*. ingeniero, UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR.
- SÁNCHEZ, A. 2015. *Evaluación del comportamiento de un sistema de generación de vapor que usa como combustible el crudo cubano PCNm1400*. Máster en seguridad tecnológica y ambiental de los procesos químicos, UCLV Marta Abreu de Las Villas.
- SÁNCHEZ, A. Alternativas tecnológicas para el incremento de la sostenibilidad económica y ambiental en la Ronera Central "Agustín Rodríguez Mena". 2016. Santa Clara, 20.
- SEDLAK, D. 2012. Documento/Manual de Química. Alemania: Afirm Group.
- SOLÉ, A. 2015. *DEFECTOS PRODUCIDOS EN TINTURA* [Online]. Catalunya: Asociación del colegio de ingenieros industriales de Catalunya. [Accessed diciembre de 2016].
- SULE, A. 2012. Life Cycle Assesment of Clothing Process. *Research Journal of Chemical Sciences*, 2(2, 3).
- TAN, N. 2000. Degradation of azo dye mordant yellow 10 in a sequential anaerobic and bioaugmented aerobic bioreactor. *Water Science and Technology*, 42, 337-344.
- TEXVI 2015a. FICHAS TECNOLOGICAS PARA EL TEÑIDO A LA CONTINUA DE TEJIDOS DE PEVI, PECO Y CO. Santa Clara, Cuba.
- TEXVI 2015b. Sistema de gestión de la calidad.Teñido. Cuba.

Anexos

Anexo I

Características del espectrofotómetro instalado en la UB Desembarco del Granma

Espectrofotómetro de mesa marca X-RITE modelo i 5 con Color Matching.

Repetibilidad: 0.03 RMS ΔE CIELAB en cerámica blanca

Geometría D\8 3 has triple.

Iluminación: Xenon pulsada, D65 calibrada

Tiempo de medición: <2.5 segundos (flash y adquisición de datos)

Ciclo máximo de trabajo: 480 mediciones por hora

Rango espectral: 360nm a750nm

Intervalo de longitud de onda: 10nm

Escala fotométrica: 0.0% a 200%

Resolución fotométrica: 0.01% reflectancia

Características del Software Color IMATCH de X-RITE

Espacios de color: CIE L*a*b*, CIE L*C*h*, hunter lab, CIE (XYZxy)

Iluminantes: D50, D55, D65, D75, F2, F7, F11, C, A.

Observador: 2°y 10°

Diferencia de color: FMCIL, CIE DL*, Da*, Db*, CIE DL*, DC*, DH*, HunterLab, CMC, CIE2000.

Anexo II Esquema termoenergético

Balance directo en el generador de vapor

$$\eta = \frac{Q1}{Qd}$$

$$Q1 = \frac{1}{m_c} * (W_v * (h_v - h_{aa}) + M_e * (h_f - h_{aa}))$$

$$Qd = Q_i^Y + h_c + h_a$$

Eficiencia η

Q1: calor útil (kJ/kg)

W_v : cantidad de vapor producido

h_v : entalpía del vapor producido (kJ/kg) evaluada a T y P

h_{aa} : entalpía del agua de alimentación (kJ/kg) evaluada a Temperatura del agua de alimentación y P

m_c : flujo másico del combustible quemado (kg/h)

M_e : flujo másico de extracciones continuas (kg/h)

h_f : entalpía del agua saturada evaluada a la presión de trabajo del generador de vapor (kJ/kg)

Qd: calor del combustible (kJ/kg)

Q_i^Y ; calor específico inferior de combustión

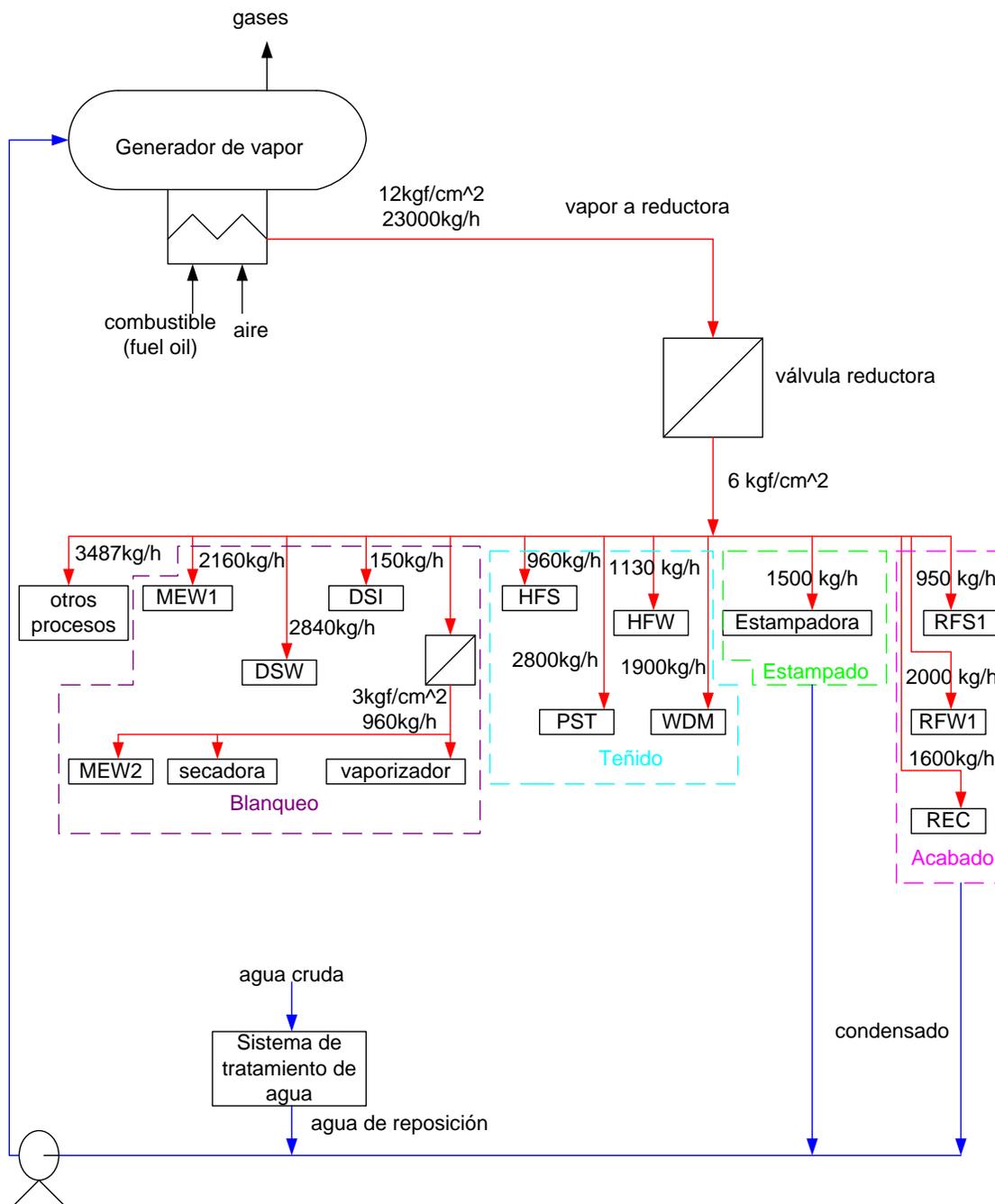
h_c y h_a : entalpías de precalentamiento y atomización

Resultados de aplicar los balances en el generador de vapor.

P trabajo de la caldera(kgf/cm ²)	12
P trabajo de la caldera(MPa)	1,17
T de trabajo de la caldera(°C)	191,5
h_v (kJ/kg)(Keenan, 1988)	2795,56
m_c (kg/h)	1530
W_v (kg/h)	23000
M_e (kg/h)	0,64
T_{aa} (°C)	90
h_{aa} (kJ/kg)	293,78
h_f (kJ/kg)	794,73

Q1(kJ/kg)	37608,64
Qi^γ(kJ/kg)	39386
Entalpía del combustible, hc(kJ/kg)	176,86
Qd(kJ/kg)	39562,86

La eficiencia del generador de vapor es 95,06%



Anexo III Afectaciones de la calidad del aire por las emisiones de SO₂

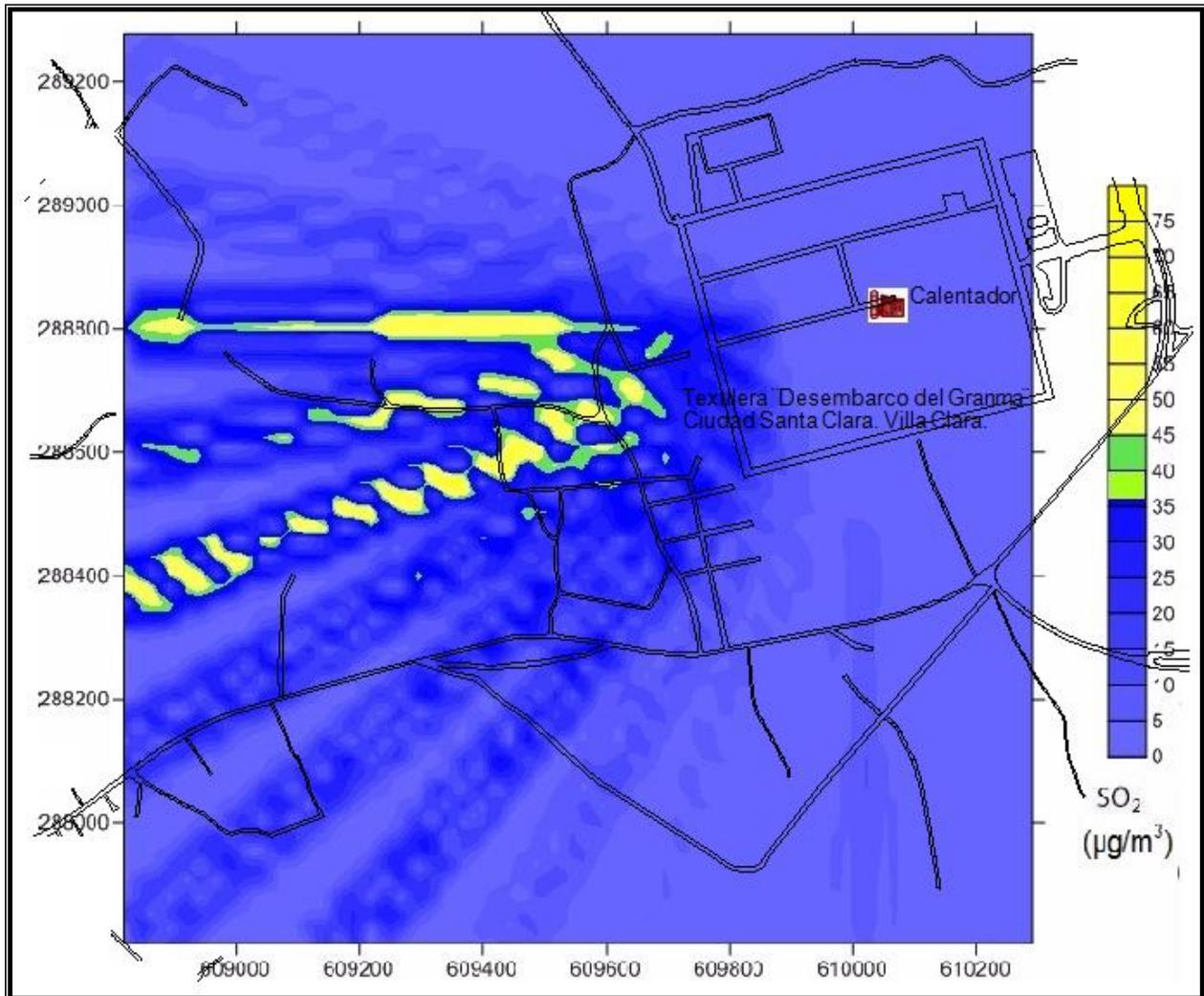


Figura # 1 Dispersión del SO₂ en 24 horas emitido por el por el calentador de aceite

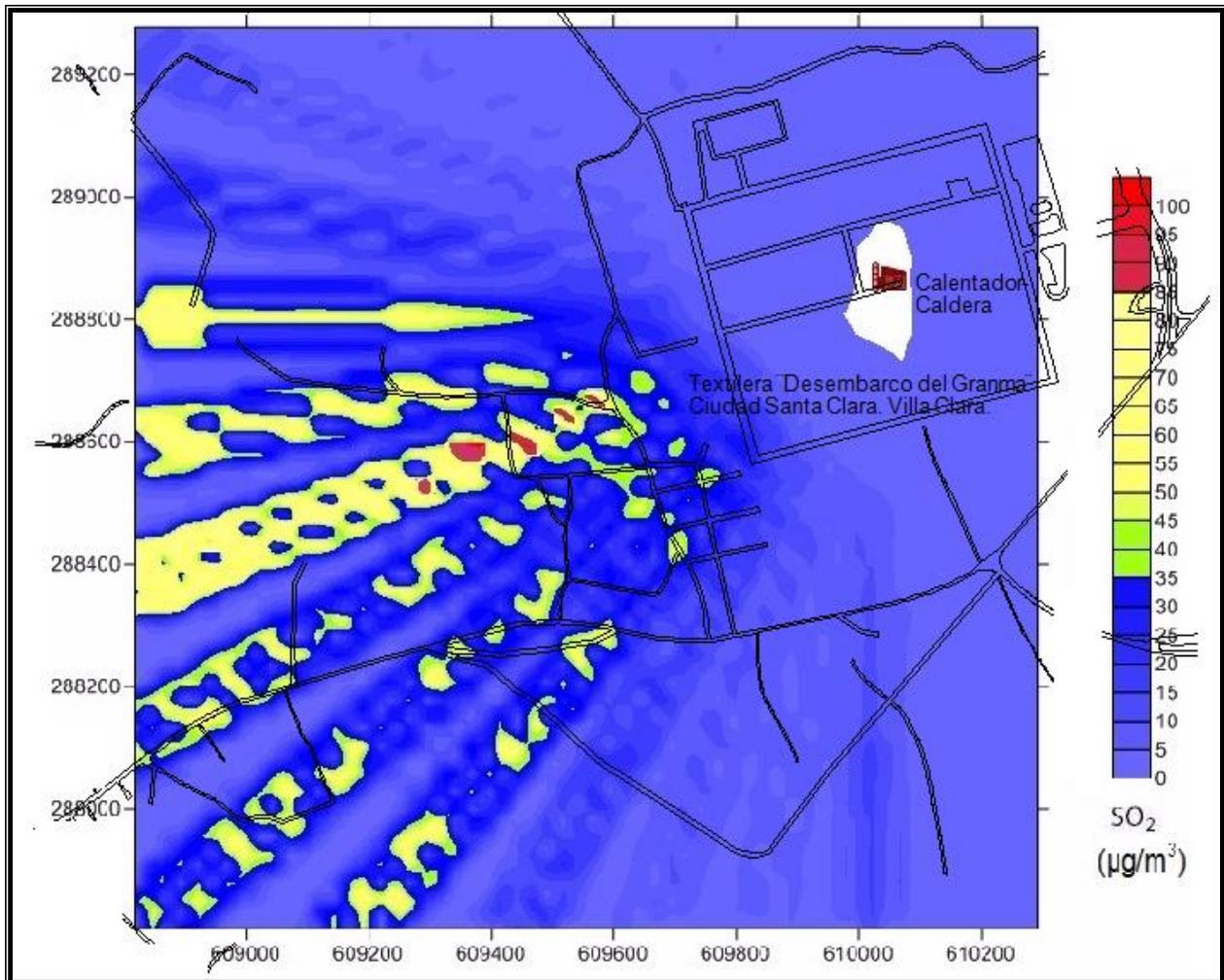


Figura # 2 Dispersión del SO₂ en 24 horas emitido por el calentador de aceite y el generador de vapor.

Anexo IV Precio de los colorantes

Precio de los colorantes que se utilizan en la obtención del color 2-922-3

Clasificación del colorante	Nombre del colorante	Precio CUC/kg
Disperso	Bemacrón Rubí RS	17,72
	Synolon Yellow SE-4G	10,77
	Synolon Black SE- NF	11,27
Reactivo	Synocrón Brown PGR	14,52
	Synocrón Navy Blue P-2R	19,35
	Triactive yellow P-5 GN	11,2

Precio de los colorantes que se utilizan en la obtención del color 2-804-3

Clasificación del colorante	Nombre del colorante	Precio CUC/kg
Disperso	Bemacrón Rubí RS	17,72
	Synolon Yellow SE-4G	10,77
	Trisetile Navy blue B 280	10,38
Reactivo	Synocrón Gold yellow P2R	10,47
	Synocrón Navy Blue P-2R	19,35
	Synocrón Red PBN	15,02

Anexo V Aval de aplicación a escala industrial de las recetas obtenidas para los colores 2-922-3 y 2-804-3

La Habana, 26 de Abril de 2017

"Año 59 de la Revolución"

AVAL

La estudiante de Ingeniería Química, Mercedes Arbona Cabrera, fue alumna en un curso que impartí en la UB Textil "Desembarco del Granma", titulado Fundamentos Teórico-prácticos de la Colorimetría Triestímulo, en el cual obtuvo resultados satisfactorios.

Parte del curso abordó la importancia de emplear un equipo adquirido por esa Empresa para el cálculo de recetas de color mediante un programa computarizado, conocido como **Color Matching**, y para la interpretación de los resultados que se obtienen con el mismo.

Como parte de su trabajo de tesis, la estudiante obtuvo las recetas de los colores con códigos 2-804-3 y 2-922-3, conjuntamente con la técnica especialista Mayda López Portal de esa Empresa. Esas recetas fueron aplicadas satisfactoriamente a escala industrial.

La obtención de recetas de color con el mencionado equipo incluye elaborar tinturas primarias (patrones), a partir de las cuales el programa calcula las recetas posibles para reproducir el color de una tintura estándar.

Si no se dispone de un equipo de esa naturaleza, las recetas de color se obtienen por los especialistas de gran experiencia, mediante evaluación subjetiva, por el método de prueba y error, siendo necesario elaborar un gran número de recetas hasta obtener el color deseado. El equipo Color Matching racionaliza en gran medida ese trabajo, disminuyendo el tiempo de obtención de la receta considerablemente, con el empleo de valores numéricos basados en la colorimetría triestímulo, es de decir de forma objetiva.

Para llegar a obtener la receta de color óptima con el equipo es necesario conocer a plenitud el funcionamiento del mismo y del programa, lo cual ha logrado satisfactoriamente la referida estudiante con el auxilio de técnicos y especialistas de esa Empresa.


Lic. Gorkis Pantoja Cabera

Investigador Auxiliar

Centro de Investigación Innovación y Desarrollo de la Industria Ligera (CIDIL)

AVAL

La estudiante Mercedes Arbona Cabrera, de la carrera de Ingeniería Química, facultad de Química Farmacia, de la UCLV "Marta Abreu de Las Villas", ha desarrollado satisfactoriamente un trabajo investigativo en la optimización de las recetas de teñido, con el empleo del equipo color matching.

Se realizó una modificación en el proceso de igualación de color en la fibra poliéster, para el teñido en un baño del tejido poliéster-algodón, incorporándose carbonato de sodio en la solución que contiene los colorantes dispersos. Con ello se logra que la receta aprobada por el equipo para el disperso se asemeje más a la receta final deseada, cuando se adicionan los colorantes reactivos y la diciandiamida.

Con el empleo de las recetas optimizadas por el equipo se ahorran \$44,97 en cada prueba a escala industrial, que fuera necesario realizar con el objetivo de probar el color que se obtuvo en el laboratorio. Además se disminuye el tiempo empleado en la igualación de color y se generan beneficios ambientales desde el punto de vista de un mejor aprovechamiento del agua y menor vertimiento de residuales.



Ing. Israel Curbelo Tápanes

Director de la Fábrica de Acabado

UB Textil Desembarco del Granma.



Anexo VI

Costo del daño ambiental por contaminante (€/t) (tomado del proyecto ExternE European Comisión, 1997) (Ocaña, 2006).

Contaminante	Costo del daño(€/t)
SO ₂	1027- 15 300
NO _x	852-18 000
Material particulado	1340 – 57 000
CO ₂	18 - 46