



Diseño de una planta de acabados textiles para la optimización de sus procesos químicos, mediante el uso de diagramas bpd, pfd y disposición layout

Design of a textile finishing plant for the optimization of its chemical processes, through the use of bpd, pfd and layout layout diagrams

Projeto de uma planta de acabamento têxtil para a otimização de seus processos químicos, através do uso de diagramas de layout bpd, pfd e layout

Gustavo Ortiz-Campo ^I

tustavo.go@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7128-3675>

Hugo Javier-Sánchez ^{II}

hugo.j.sanchez@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0074-3237>

Georgina Ipatia-Moreno ^{III}

gmoreno@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9400-7064>

Israel Fabian-Heredia ^{IV}

fabian.heredia@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9413-7504>

Cristian Sebastián-Sánchez ^V

cssanchezm13@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9182-8310>

Correspondencia: tustavo.go@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de mayo de 2022 * **Aceptado:** 12 de junio de 2022 * **Publicado:** 1 de julio de 2022

- I. Escuela Politécnica Nacional (EPN). Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- V. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- VI. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.

Resumen

En la actualidad debido a los avances tecnológicos el sector industrial ha generado un gran aporte de producción económica al país, incrementando notablemente las exportaciones de hilados y tejidos, con la finalidad de invertir eficientemente en equipos para disminuir los impactos ambientales y aprovechar de mejor manera la materia prima. En la presente investigación se elaboró el diseño de una planta de acabados textiles para la empresa INDUSTRIALES TEXTILES TORNASOL, para ello se consideró el diseño de equipos de la línea principal y el dimensionamiento de los equipos auxiliares mediante dos procesos: balance de masa en función de tinturación de la planta, y balance de energía en función de la cantidad de vapor requerido, además se realizaron diagramas de bloque (BFD) , diagramas de flujo (PFD) , y disposición LAYOUT con el fin resolver una temática de mucho control y cuidado en los principales procesos químicos para la producción de acabados textiles como tejidos y algodón, además que busca el correcto uso de los recursos en la empresa, teniendo como enfoque principal la reutilización y optimización.

Palabras Clave: Balance de Masa; Balance de Energía; Diagrama de Bloque (BFD); Diagrama de Flujo (PFD); Disposición LAYOUT; Reutilización; Optimización.

Abstract

At present, due to technological advances, the industrial sector has generated a great contribution of economic production to the country, notably increasing exports of yarns and fabrics, in order to invest efficiently in equipment to reduce environmental impacts and take better advantage of the raw material. In the present investigation, the design of a textile finishing plant was elaborated for the company INDUSTRIALES TEXTILES TORNASOL, for which the design of the main line equipment and the dimensioning of the auxiliary equipment were considered through two processes: mass balance based on dyeing of the plant, and energy balance based on the amount of steam required, in addition block diagrams (BFD), flow diagrams (PFD), and LAYOUT layout were made in order to solve a theme of great control and care in the main chemical processes for the production of textile finishes such as fabrics and cotton, in addition to seeking the correct use of resources in the company, with reuse and optimization as its main focus.

Keywords: Mass balance; Energy balance; Block Diagram (BFD); Flow Diagram (PFD); layout LAYOUT; Reuse; optimization.

Resumo

En la actualidad debido a los avances tecnológicos el sector industrial ha generado un gran aporte de producción económica al país, incrementando notablemente las exportaciones de hilados y tejidos, con la finalidad de invertir eficientemente en equipos para disminuir los impactos ambientales y aprovechar de mejor manera la materia prima. Na presente investigação, foi elaborado o projeto de uma planta de acabamento têxtil para a empresa INDUSTRIALES TEXTILES TORNASOL, para a qual foi considerado o projeto dos equipamentos da linha principal e o dimensionamento dos equipamentos auxiliares através de dois processos: balanço de massa baseado no tingimento do planta, e balanço de energia com base na quantidade de vapor necessária, além de diagramas de blocos (BFD), diagramas de fluxo (PFD), e layout LAYOUT para resolver um tema de grande controle e cuidado nos principais processos químicos para a produção de acabamentos têxteis como tecidos e algodão, além de buscar o uso correto dos recursos na empresa, tendo como foco principal o reaproveitamento e a otimização.

Palavras-chave: Balanço de massa; Equilíbrio energético; Diagrama de Blocos (BFD); Diagrama de fluxo (PFD); disposição LAYOUT; Reuso; otimização.

Introducción

En el Ecuador el sector industrial es la segunda fuente de aporte a la producción económica según datos del Banco Central del Ecuador, su crecimiento es de tal importancia para el aporte del PIB, que es considerada uno de los sectores que más provee empleo tanto directo como indirecto, en la Figura 1.1 se puede apreciar la influencia del sector industrial entre los años 2007 y 2013.

Figura 1.1. Aporte a la producción económica entre los años 2007 y 2013
(Banco Central del Ecuador, 2017)



El sector textil en el Ecuador se ha vuelto tan importante para el desarrollo económico e industrial, que llega a ser el segundo sector dentro de la categoría de manufactura, su crecimiento es tal, que durante los años 2010 al 2015 fue de 67,12 % según datos de la asociación de Industriales Textiles del Ecuador (AITE, 2016) y se considera una de las principales fuentes de trabajo por debajo del sector alimenticio.

Este incremento se debe en gran parte a las exportaciones de hilados y tejidos, lo cual ha generado que las industrias inviertan en la adquisición de equipos con el fin de aumentar la producción, una de las principales preocupaciones en el sector textil son los altos niveles de consumo de agua en los procesos de tinción, se tiene que para fibras de algodón el consumo de agua varía entre 50-120 L/kg, mientras que para las fibras sintéticas esta entre 10-100 L/kg (Castells, 2005, p. 1923).

Las industrias textiles producen altos contaminantes ya sea por efluentes líquidos, contaminación atmosférica debido al uso de calderos y contaminación auditiva (Fúquene, 2007, pp. 56-57), por lo cual es necesario la aplicación de alternativas tecnológicas más amigables con el medio ambiente que permitan disminuir el impacto ambiental en sus descargas.

En la actualidad se han realizado varios estudios de producción más limpia en el Ecuador, dichos estudios se han incrementado a nivel regional, debido a los cambios en la matriz productiva del Ecuador, el sector textil ha realizado inversiones en mejoras tecnológicas con el fin de poder disminuir los impactos ambientales así como también aprovechar de mejor manera los recursos económicos, materiales y energéticos que posee el sector industrial, muchos de estos estudios están

basados en la reingeniería de procesos, diseño de nuevas plantas (Méndez y Vidal, 2007, pp. 246-248).

El diseño de una planta desde el punto de vista estructural conlleva a la planificación del espacio físico que se tiene disponible para la ubicación de los equipos, verificar las fuentes de abastecimiento de la materia prima e insumos necesarios para la producción, realizar estudios en torno a las normativas tanto ambientales como de uso de suelo a la cual la industria debe acoplarse para no tener ningún tipo de inconveniente en su funcionamiento.

Una vez que se logren determinar estos aspectos, se puede realizar un estudio interno del área de trabajo con el fin de aprovechar al máximo cada espacio tomando en consideración que las industrias pueden expandir como reducir su producción, para lo cual es necesario renovar equipos que permitan aprovechar los tiempos muertos, aumentar la productividad si se requiere, e incluso poderlos cambiar de sitio con el fin de formar procesos continuos que sigan la línea de procesamiento (Casals, Dolors y Roca, 2001 , pp. 177-188).

Metodología

En el presente proyecto se realizó el diseño de una planta de acabados textiles, para la optimización de los procesos químicos de la empresa Textiles Tornasol S.A. actualmente ubicada en el sector de Calderón en la provincia de Pichincha, la capacidad actual de producción de la planta es de aproximadamente 26 t/mes, mientras que para el diseño se estimó un aumento del 20 % en su producción considerando la demanda de metros de tela que tiene el Ecuador en cuanto a la exportación de bienes textiles. Para el diseño de la planta de acabados textiles, se realizará una evaluación sobre la descripción del proceso y los criterios de diseño que se tomó en consideración los para el tratamiento de la tela cruda.

Descripción del proceso

La receta de tinturación establecida en la Tabla 2.1, permite identificar la cantidad de insumos químicos que ingresan en cada máquina de tinturación, esto ayudó para realizar los balances de masa y energía necesarios para el dimensionamiento tanto de los equipos principales como de los auxiliares basados en normas técnicas (Rehbein, 2009, pp.2-4).

Tabla 2.1. Formulación de la receta de tinturación para una relación de baño RL: 1/7

Proceso	Reactivo	Cantidad	Unidad
Descrude y Pre-blanqueo	Establuper OP	1,00	g/L
	NaOH _(sólido)	1,00	g/L
	Agua oxigenada	1,20	g/L
Tinturación Poliéster	Ácido cítrico	0,65	g/L
	Dispersol jet	1,00	g/L
	Amarillo disperso 4G	0,56	g/kg
	Allilion naranja H3R	0,01	g/kg
Tinturación Algodón	Eurolevel	1,00	g/L
	Amarillo reactivo ME4GL	0,73	g/kg
	Amarillo reactivo ED	0,36	g/kg
	NaCl	50,0	g/L
	Na ₂ CO ₃	5,00	g/L
Neutralizado	Ácido acético glacial	0,30	g/L
Lavado	Eurolevel	0,20	g/L

*Empresa Textiles Tornasol, 2016.

Los sub-procesos de la tinción son etapas que se realizan de forma independiente, sin embargo, todos estos procesos se los realiza con un volumen de baño determinado (Cie, 2015, pp. 43-57).

Los volúmenes para el proceso de tinción están determinados por la cantidad de agua necesaria para realizar los procesos de agotamiento, dentro de los equipos de tinturación es difícil tener un sensor que permita controlar el nivel de baño debido a que la tela absorbe una cantidad de agua y dificulta su medición, por dicho motivo se debe incluir el diseño de un tanque cerrado que permita

controlar la cantidad de agua que ingresa en cada etapa de la tinturación (Pineda y Jara, 2010, pp. 41-62).

Preparación de la tela

Los rollos de tela cruda proveniente del área de tejeduría deben ser pesados hasta alcanzar la capacidad en peso de la máquina de tinción a la cual van a ingresar, posteriormente se los separa en dos grupos y se los desenrolla con el fin de revisar que no existan desperfectos que puedan provocar que la tela se atasque en los equipos o se rompan los tejidos (Che-Seung, Byeong-mMook, Moo-Jin, 2005, pp. 1 073-1 074).

Proceso de tinción

El proceso de tinción del tejido tubular poli-algodón se lo realiza en máquinas del tipo autoclaves *Overflow* , el cual tiene como principal característica que es un proceso *batch* mediante agotamiento de baño, es decir que los insumos químicos, la tela y la cantidad de agua determinada ingresan al equipo, se cierra y se presuriza para alcanzar las temperaturas correspondientes a cada sub-proceso de tinción durante un determinado tiempo, una vez que acaba el proceso, el baño es descargado para iniciar el siguiente proceso con sus respectivas cantidades de insumos y agua las cuales corresponden a un nuevo baño.

Descubre y pre-blanqueado

El proceso de descruce es un tratamiento del tipo químico que se realiza a los tejidos naturales con el fin de eliminar la grasa natural e impurezas propias de la fibra, para este proceso es necesario el uso de hidróxido de sodio NaOH en las cantidades establecidas en la Tabla 2.1, el cual genera una reacción de saponificación con la grasa natural de la fibra, mientras que los agentes emulsificantes y tensoactivos ayudan a la eliminación de las grasas (Lacasse y Baumann, 2004, pp. 89-90).

El proceso de descruce se realiza a presiones de trabajo que suelen estar a valores entre 2-3 bar donde el baño puede alcanzar temperaturas entre los 100 y 135 °C, esto tiene una ventaja enorme ya que permite reducir los tiempos de residencia entre 90 y 120 minutos (Choudhury, 2006, p. 175), los procesos de descruce que se realizan en la fábrica son a temperatura de 100 °C y debido al uso del hidróxido de sodio el baño adquiere valores de pH entre 10,0 y 10,5.

Tinción del tejido de poliéster

Para la tinción, el equipo necesita alcanzar una temperatura de 130 °C y presión de 3 bar, en esta etapa la máquina se llena con una determinada cantidad de agua cruda proveniente de la cisterna y se añaden colorantes del tipo dispersos, posteriormente se acondiciona el baño mediante agentes dispersantes y ácido cítrico con el fin de alcanzar valores de pH entre 4,5 y 5,5. Este proceso tiene una duración de 90 a 120 minutos para luego disminuir su temperatura hasta 60 °C con la finalidad de poder expulsar el baño de tinturación.

Neutralizado y fijación

La neutralización y la fijación son dos etapas distintas, en la primera se efectúa un baño con un ácido débil con el fin de disminuir la alcalinidad de la tela y bajar el pH de la solución a niveles entre 6 y 7 para posteriormente efectuar un baño con un agente tensoactivo que pueda remover cualquier residuo de sal industrial o de sosa caustica utilizada en la tinción de la fibra de algodón, estos baños se los realiza a temperatura ambiente o a 60 °C con el fin de que los agentes químicos tengan una mejor solubilidad (Navarro y Pérez, 2003, pp. 83-85).

Hidroextracción

El proceso de hidroextracción es un proceso mediante el cual la tela debe ser exprimida por acción mecánica de dos rodillos, para ello la tela ingresa en una pequeña bandeja donde se remoja en su totalidad y de ahí se dirige hacia un sistema de dos rodillos los cuales ejercen una presión de 4 bar, el agua ayuda a lubricar el paso de la tela por los rodillos y también mejora las propiedades mecánicas del algodón evitando que al momento de ejercer la presión las fibras de algodón se quiebren y produzcan *pilling* (ruptura de las fibras para la formación de pequeñas bolas debido al aglomeramiento de las mismas) en la tela (Albrecht, Fuchs y Kittelmann, 2003, pp. 264-265).

El proceso de la hidroextracción es una alternativa tecnológica que reemplaza a los equipos de centrifugación, ya que permite que el trabajo se lo realice en continuo sin necesidad de separar en rollos de telas, abaratando así los costos de energía y aumentando la productividad.

Secado

La etapa de secado de la tela se lo realiza en cámaras de convección forzada con aire caliente, para ello el aire ingresa mediante ventiladores hacia un filtro con el fin de deshumidificar gran parte del aire, posteriormente éste ingresa a un intercambiador de calor con cambio de fase donde es calentado por vapor saturado proveniente del caldero, el aire que ingresa debe alcanzar una temperatura de 130 °C para ingresar a la cámara de convección donde entra en contacto directo con la tela exprimida,

Calandrado y Almacenamiento

En el proceso de calandrado la tela proveniente de la máquina de secado ingresa a un sistema de rodillos calientes, los rodillos alcanzan temperaturas entre 180 a 200 °C, lo que genera que las fibras de poliéster se ablandan y pueden ser fácilmente orientadas con acción mecánica, a este proceso se lo conoce también como termofijación.

Criterios de diseño

Para el diseño de la planta se tomó en consideración tanto las bases para la ubicación y localización de la planta como los criterios técnicos aplicados a los principales equipos y sistemas auxiliares del proceso de acabados textiles.

Criterios de localización de la planta

Las industrias deben estar siempre ubicadas en sectores en los cuales estén alejados de urbanizaciones o en sectores denominados parques industriales o parques corporativos, tomando como factores a considerar la adquisición de la materia prima, servicios básicos, transporte, normativas a cumplir y la situación estructural del terreno (Casals, Dolors y Roca, 2001 , p. 177).

Macro y micro localización

En muchas ocasiones la macro y micro localización que tiene una planta o una empresa de servicios, representa una ventaja o desventaja en el mercado debido a que los costos de operación pueden subir en función de las distancias que se tengan entre un proveedor y un cliente, el estudio de la localización o ubicación de las fábricas permiten llevar una correcta gestión en el precio de

los productos o servicios (Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social, 2006, pp. 94-96).

Recursos y servicios requeridos

Para la determinación de los recursos a utilizar por parte de la fábrica se debe detallar el tipo de materia prima que se utiliza como se indica en la Tabla 3.1., la principal materia prima son los hilos de poli-algodón.

Tabla 3.1. Característica del hilo de poli-algodón

Pes-Co		Poliéster 100 %		Pes-Co	
24/1	NE	75/72	Dtex	40/1	den
22/1	NE				
20/1	NE	110/96	Dtex		
12/1	NE				

Pes-Co: Poliéster y algodón

En la Tabla 3.2 se presenta una lista de los mayores proveedores que poseen el producto capaz de abastecer de materia prima a la fábrica.

Tabla 3.2. Precios de los hilos según los proveedores

PARÁMETRO	ENKADOR	QINGDAO
Peso (kg)	1,67	1,51
Precio (USD)	1,20	1,02
Diámetro interno (cm)	11	11
Diámetro externo (cm)	67	61

ENKADOR Fibras Sintéticas y Textiles

QINGDAO Lucky Textile Cangnan Factory

Los insumos químicos son parte de las materias primas ya que de éstos depende todo el proceso de tinturación, en la Tabla 3.3 se muestran las características de los insumos químicos necesarios para el proceso de tinturación con sus respectivas características, las cuales han sido tomados de los catálogos de los principales proveedores del país particularmente de la provincia de Pichincha.

Tabla 3.3. Insumos utilizados en el proceso de tinturación

INSUMOS	CARACTERISTICAS
NaOH	Escamas color blanquecino, estado sólido. NaOH: Min. 50,00 % m/m. Na ₂ CO ₃ : Max. 0,50 % peso. NaCl: Max. 0,50 % m/m. Na ₂ SO ₄ : Max. 0,02 % m/m.
H ₂ O ₂	Líquido e incoloro Punto de ebullición entre 106 y 114 °C pH entre 2 y 4 Punto. de descomposición: 120 °C
Agente Dispersante (dispersol yet)	Residuo 57 % minimo Punto de ablandamiento a 53 °C Incoloro
Ácido Cítrico	Punto de descomposición 175 °C Muy soluble a 20 °C. Solubilidad en: etanol, dietil éter. pH: 2,2 a solución 1 %
Na ₂ CO ₃	Temperatura de fusión 851°C: Temperatura de ebullición: No se descompone. Densidad relativa: 2,53 / 20 °C (Agua=1) Reactividad en agua: Ninguna Estado físico, color y olor: sólido, polvo blanco-gris, higroscópico 15 % humedad, inodoro. pH: 11,62 al 1 %

Ácido Acético	<p>Punto de Ebullición: 118 °C</p> <p>Densidad Relativa del Vapor : 2,10 g/mL (glacial)</p> <p>Punto de Fusión: 16,6 °C (glacial)</p> <p>pH: 2,4 (Solución acuosa 1 M)</p>
Eurolevel	<p>Carácter ligeramente catiónico</p> <p>Estado: Líquido</p> <p>pH de la solución de 5 % Sobre 7 y 9</p> <p>Estabilidad en almacenamiento estable durante al menos 1 año en envases cerrados a 20 °C.</p> <p>pH: 2,4 (Solución acuosa 1 M)</p>
NaCl (industrial)	<p>Apariencia: Cristales blancos</p> <p>Sólido</p> <p>pH: Mayor de 6,0</p> <p>Densidad : 1,17 g/mL</p> <p>Punto de Fusión: 204 °C</p> <p>Muy soluble en agua</p>

Para la adquisición de los insumos químicos es necesario tener una variedad de proveedores que puedan satisfacer las necesidades de la empresa, entre los cuales se tienen: T3 Química, Química Latinoamericana, Huntsman, Quimpac Ecuador S.A., Adesia Químicos, Clariants, Corquiven C.A. Y Productos químicos Xasali.

En la Tabla 3.4 y 3.5 se muestran los precios de la energía eléctrica y del agua potable con el servicio de alcantarillado para el sector industrial en los diferentes horarios, los cuales son suministrados por la Empresa Eléctrica Quito y la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, respectivamente.

Tabla 3.4. Valores de energía eléctrica

Horario (horas)	Días	Precio (USD/kW.h)
08:00 – 18:00	Lunes - Viernes	0,05
18:00 – 22:00	Lunes - Viernes	0,07
22:00 – 08:00	Lunes - Viernes	0,04
18:00 - 22:00	Sábados – Domingos – Feriados	0,05

(Empresa Eléctrica Quito, 2016)

Crterios para diseño de equipos principales

Para los diseños de los equipos principales se los realizaron en base a normas técnicas y considerando rangos de operación en sus parámetros según el equipo.

Los equipos principales que se consideraron para el diseño de la planta son:

- Equipos de tinción *Overflow*.
- Intercambiadores de calor de tubos y coraza con cambio de fase.
- Equipo de hidroextracción.
- Secadora con cámara de aire.
- Equipos de calandra

Para el tanque de almacenamiento de agua de las tinturadoras, se calculó el volumen en función de la capacidad del equipo de tinción y se utilizó un factor de seguridad del 25 % (Peters y Timmerhaus, 2002, p. 37), con el fin de asegurar el nivel de baño exacto para cada sub-proceso de la tinturación.

Para el cálculo del espesor se consideró como material a utilizar el acero inoxidable el cual cumple con la normativa ASTM A 516 “*Pressure Vessel Steel*” (ASTM A 516, 2000, p. 2), para la selección de la tensión máxima permisible se considera la norma API 620 “*Desing and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks*” (API 620, 2002, pp. 2-16), como lo indica la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Máximos niveles de tensión del acero inoxidable ASME A 516

GRADO DE RECUBRIMIENTO	TENSIÓN MAXIMA EN (lbf/in²)
55	16 500
60	18 000
65	19 500
70	21 000

(API 620, 2002)

Una vez determinada la máxima tensión del material se procederá a calcular el espesor del envolvente mediante la Ecuación 3.1 (Sinnott R., 2005, p. 879).

$$e_t = \frac{\delta_L \times H \times g}{2 \times S_t \times E} \times \frac{D_i}{1000} \quad [3.1]$$

Donde:

e_t : espesor del tanque (mm)

δ_L : densidad del líquido (kg/m³)

E : eficiencia de la junta de la soldadura (si se aplica)

g : aceleración gravitacional (9,81 m/s²)

S_t : tensión máxima permisible según el material (N/mm²)

H : altura del tanque (m)

D : diámetro del tanque (m)

Para el diseño de los intercambiadores de calor se tomó en cuenta la máxima temperatura de trabajo del proceso de tinturación y se empleó intercambiadores con cambios de fase, para la selección del intercambiador se utilizó las gráficas de Holman (1999) donde se especifican el número de pasos tanto en la coraza como en los tubos y su debido factor de corrección con base a las temperaturas de los fluidos (pp. 496-499).

Posteriormente con ayuda de la Tabla 3.7 se procedió a calcular el área de transferencia del intercambiador mediante la Ecuación 3.2.

Tabla 3.7. Coeficientes globales de transferencia de calor sucios (Us)

Fluido Caliente	Fluido Frío	Us [W/ m².°C]
Agua/Solución acuosa diluida	Agua/Solución acuosa diluida	1 419 - 2 838,6
Líquido orgánico ligero	Agua/Solución acuosa diluida	425,8 - 1 419,3
Líquido orgánico medio	Agua/Solución acuosa diluida	282,8 - 709,65
Líquido orgánico pesado	Agua/Solución acuosa diluida	56,77 - 425,79
Vapor	Aire	28 - 280

(Perry, 2000, pp. 47-49)

$$A = \frac{Q}{LMTD \times U_s \times fr} \quad [3.2]$$

Donde:

A: área total de transferencia del intercambiador (m²)

Q: flujo de calor que se transfiere del fluido caliente al frío (W)

LMTD: temperatura media logarítmica entre los fluidos (°C)

fr: factor de corrección del intercambiador

Posteriormente se calculó el número de tubos, mediante la Ecuación 3.3, asumiendo una longitud adecuada del intercambiador.

$$n = \frac{A}{2\pi \times \frac{de}{2} \times L} \quad [3.3]$$

Donde:

de: diámetro exterior del tubo (m)

A: área total de transferencia del intercambiador (m²)

n: número de tubos del intercambiador

L: longitud del intercambiador (m)

Con las condiciones de temperatura tanto del fluido caliente como del fluido frío se obtuvieron las propiedades termo físicas de cada uno de ellos con las cuales se calculó la velocidad del fluido,

número de Reynolds, número de Nuselt y finalmente el coeficiente de convección del fluido con lo cual se determinó el coeficiente de transferencia de calor limpio (U_L) (Incropera, 2007, pp. 681-685), para ello se emplearon las Ecuaciones 3.4 y 3.5.

$$v = \frac{\dot{m}}{\delta \times A_t} \quad [3.4]$$

Donde:

v: velocidad del fluido por el interior de los tubos (m/s)

\dot{m} : flujo másico (kg/s)

A_t : área transversal de todos los tubos por donde circula el fluido (m^2)

δ : densidad del fluido (kg/m^3)

$$U_L = \frac{1}{h_i^{-1} + h_e^{-1}} \quad [3.5]$$

Donde:

U_L : coeficiente de transferencia de calor limpio ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_i : coeficiente de convección del fluido interno ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_e : coeficiente de convección del fluido externo ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Para verificar si los parámetros de diseño del intercambiador son los correctos se calculó la resistencia al ensuciamiento (Re) mediante la Ecuación 3.6 y se comparó tanto la velocidad de los fluidos como la resistencia al ensuciamiento con las Tablas 3.8 y 3.9.

$$Re = \frac{1}{U_s} - \frac{1}{U_L} \quad [3.6]$$

Donde:

U_s : coeficiente de transferencia de calor sucio ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Re : resistencia al ensuciamiento ($m^2 \cdot ^\circ C / W$)

Tabla 3.8. Rango de velocidades para el diseño de intercambiadores de calor

Fluido	Velocidad por el lado de los tubos (ft/s)	Velocidad por el lado de la coraza (ft/s)
Agua	3 – 6	2 - 4
Líquido no viscoso	2 – 5	2 - 3
Líquido viscoso	2 – 4	1 - 2
Gases de baja densidad	50 – 150	30 - 60
Gases de alta densidad	20 – 80	20 - 40

(Perry, 2000, pp. 47-58)

Tabla 3.9. Resistencia al ensuciamiento para intercambiadores de calor

Fluido	Re (°C.m ² /W)
Agua dulce	0,0002 - 0,001
Vapores que condensan	0,0001
Aire	0,0004

(Holman J., 1999, p. 486)

Para el diseño de los rodillos de la hidroextractora es determinante conocer los diámetros de los rodillos, diámetros del eje, rango de velocidades y rango de presiones que el equipo puede ejercer, estos datos fueron tomados directamente por los catálogos de los equipos.

En base al radio de los rodillos de la prensa extractora y la velocidad a la que debe operar se calculó la velocidad angular mediante la Ecuación 3.7 (Giancoli, 2006, pp. 72-75).

$$\omega = \frac{V}{r} \quad [3.7]$$

Donde:

ω : velocidad angular (rad/s)

- v: velocidad lineal a la que pasa la tela (m/s)
r: radio del rodillo (m)

Debido a que el proceso de hidroextracción es un proceso que ejerce presión a la tela, se tiene una longitud de contacto entre los rodillos y la tela al momento de su ingreso.

Para el cálculo de la potencia que ejercen los rodillos sobre la tela se debe conocer de antemano todas las variables relacionadas en el proceso de prensado por rodillos tales como: espesor de la tela al ingreso y salida de los rodillos, ancho de la tela con lo cual se procedió a calcular la fuerza ejercida por los rodillos mediante la Ecuación 3.8 y posteriormente se calculó la potencia mediante la Ecuación 3.9 (Groover, 2000, pp. 450-453).

$$F=a \times p \times L \quad [3.8]$$

Donde:

- F: fuerza que aplican los rodillos (N)
a: ancho de la tela (m)
p: presión que ejercen los rodillos (Pa)
L: longitud de contacto entre el rodillo y el material (m)

$$P=2\pi \times \omega \times F \times L \quad [3.9]$$

Donde:

- P: potencia que ejercen los rodillos (W)
w: velocidad angular de los rodillos (rad/s)
F: fuerza que aplican los rodillos (N)
L: longitud de contacto entre el rodillo y el material (m)

Para el sistema de calandras se utilizó el mismo criterio de diseño de rodillos, sin embargo el proceso requiere temperaturas superiores a los 100 °C, ya que se deben alcanzar las condiciones óptimas para el proceso de termofijación. El proceso de termofijación es únicamente para la fibra sintética y las temperaturas deben ser ajustadas en base al tipo de fibra sintética que se utiliza como indica la Tabla 3.10 (Lockuán, 2012, p. 7).

Tabla 3.10. Condiciones de temperatura para termofijación de fibras sintéticas

Fibra	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Tiempo (s)
Poliéster	170	210	15-50
Poliamida 6.6	170	210	15-40
Poliamida 6	160	180	15-40
Acrílico	160	180-200	15-40

(Lockuán, 2012)

La rama secadora es un equipo que consta básicamente de una banda transportadora, una cámara abierta donde circula aire caliente y un intercambiador de calor para que el aire que ingrese a la cámara alcance la temperatura superior a la temperatura de ebullición del agua, por lo cual es importante que la rama secadora posea una banda lo suficientemente ancha para que la tela repose sin problema alguno, los aspectos más importantes que se tomó en cuenta son el peso que debe soportar la banda y la velocidad de los rodillos o engranaje, las cuales estarán en función del tiempo de residencia de la tela (Halmos G., 2006, pp. 5-28),

La velocidad para la banda se encuentra en relación con el ancho de la misma y el peso específico del material que debe soportar, ésto se puede relacionar con velocidades de la Tabla 3.11 las cuales son normalizadas según la norma DIN 22101 (DIN 22101, 2002, pp. 5-25).

Tabla 3.11. Relación ancho de banda-velocidad según la norma DIN 22101

Ancho de banda (mm)	Velocidad máxima (m/min)			
	A	B	C	D
400	2,62	2,09	2,09	1,31
500	2,62	2,62	2,09	1,68
650	3,35	2,62	2,62	1,68
800	3,35	3,35	2,62	2,09
1 000	4,19	3,35	3,35	2,09

1 200	4,19	3,35	3,35	2,62
1 400	4,19	3,35	3,35	3,35
1 800	4,19	4,19	3,35	3,35
2 000	5,24	4,19	3,35	3,35

A- Materiales ligeros deslizables, no abrasivos con peso específico de 0,5-1,0 t/m³

B- Materiales no abrasivos o muy poco abrasivos con peso específico de 1,0-1,5 t/m³

C- Materiales medianamente abrasivos y pesados con peso específico de 1,5-2,0 t/m³

D- Materiales muy abrasivos, pesados y cortantes con peso específico de 2,0 t/m³

La cisterna que es la estructura de almacenamiento del agua requerida por la fábrica debe ser diseñada en base al balance de masa y a la planificación del uso de las máquinas de tinturación (De la Fuente y Fernández, 2005, pp. 13-29; Harmsen, 2002, pp. 500-510).

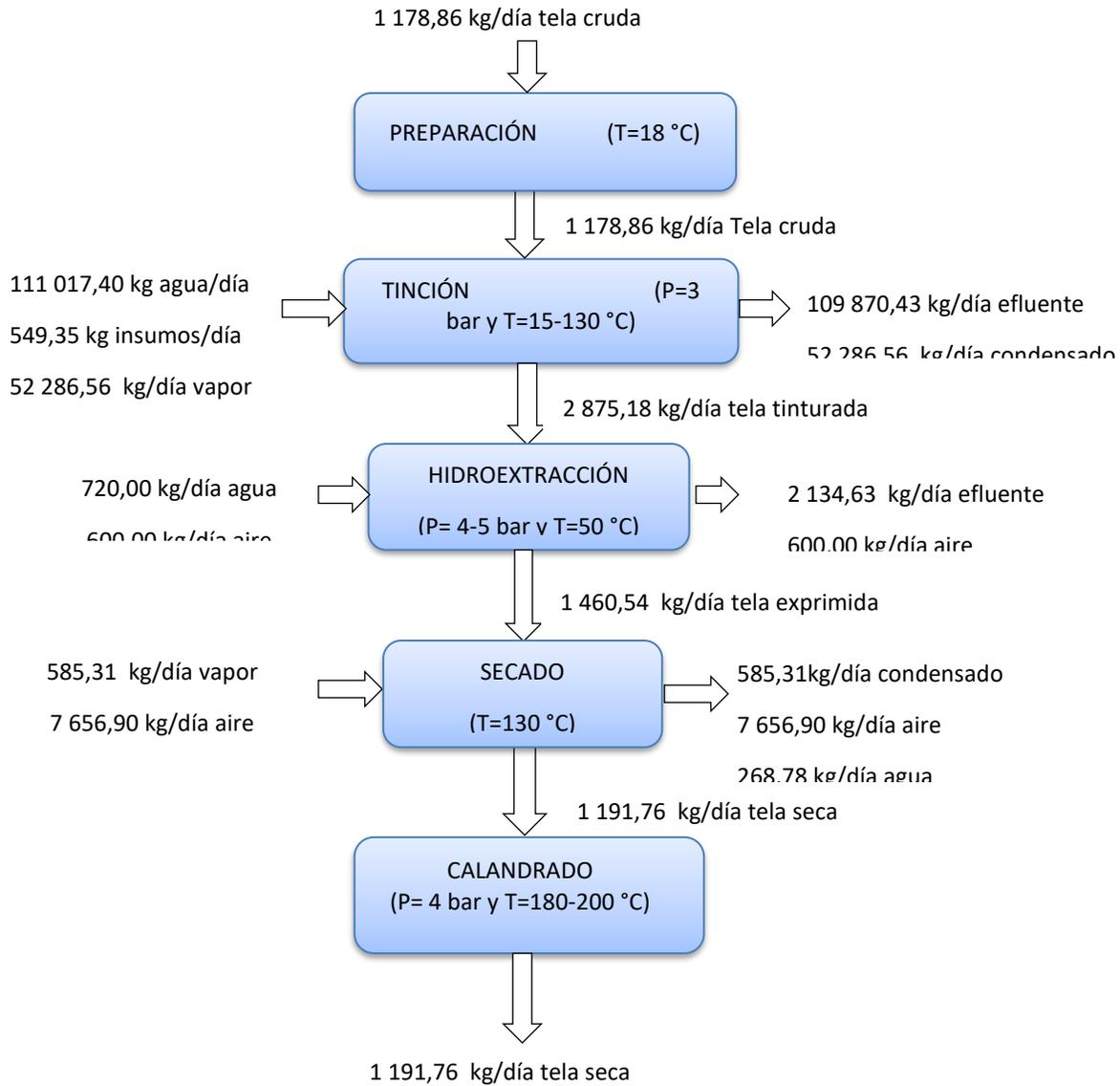
Resultados

A partir del análisis desarrollado para el diseño de una línea o planta de acabados textiles para la optimización de sus procesos químicos, se alcanzaron los siguientes resultados:

Diagrama de bloques bpd y diagrama de flujo pfd

Diagrama de bloques bpd del proceso de acabados textiles

Figura 3.1. Diagrama de bloques del proceso de acabados textiles



3.1.2. Diagrama de bloques BPD del proceso de tinturación

Figura 3.2. Diagrama de bloques del proceso de tinturación

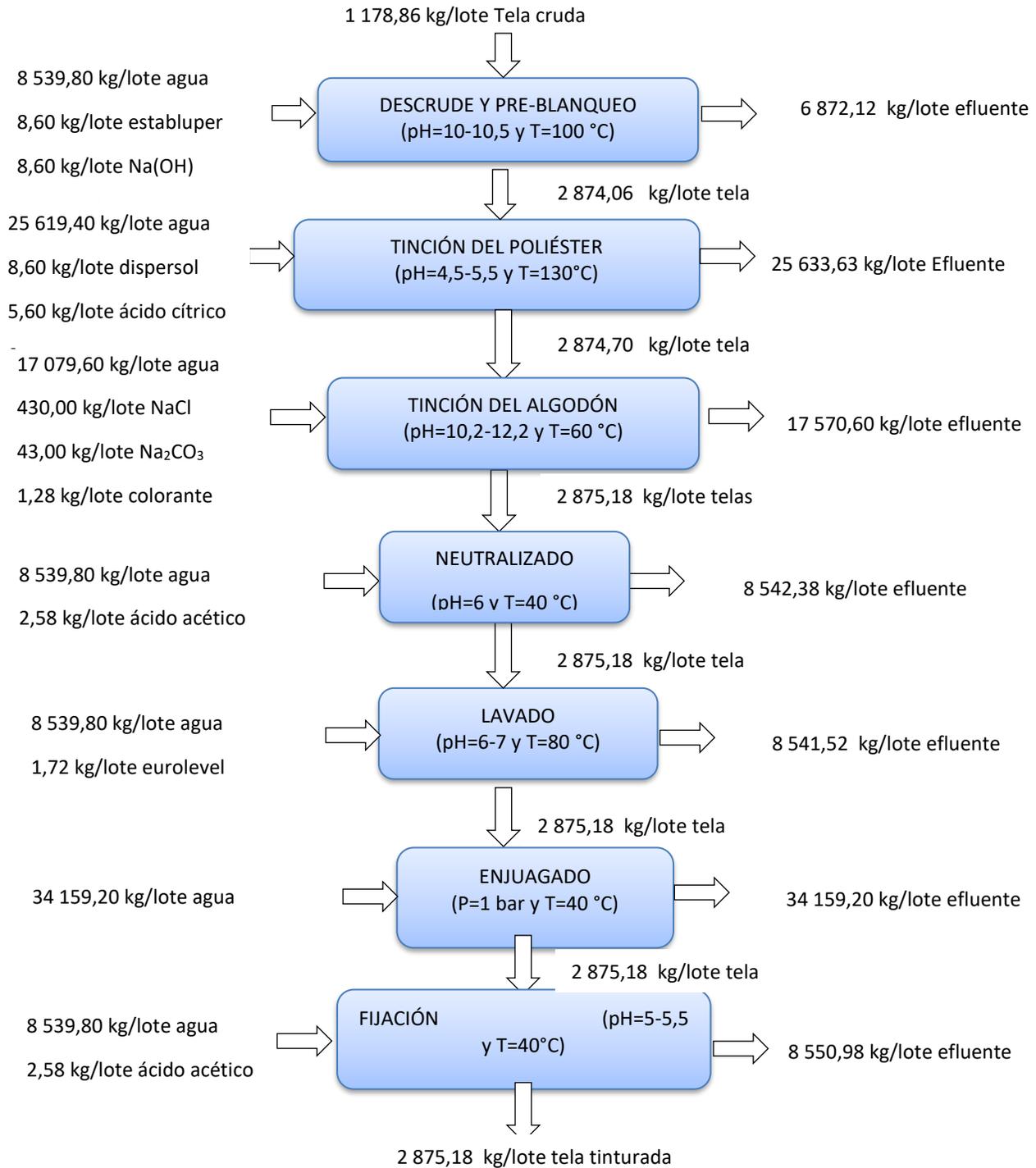
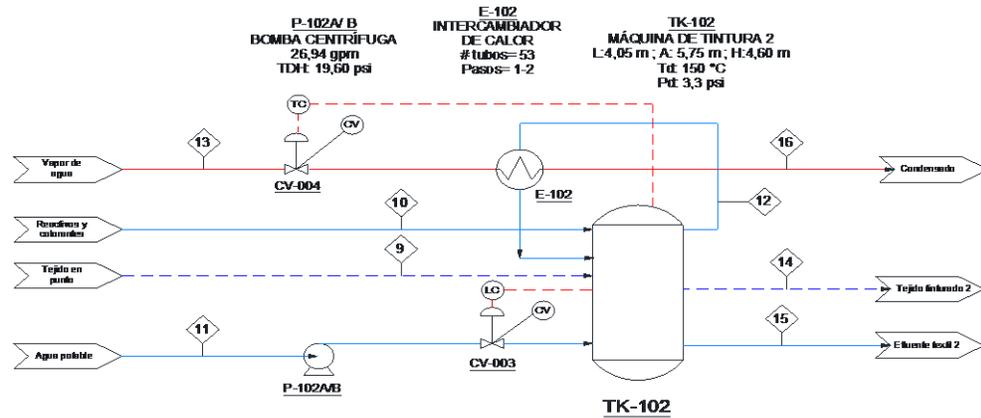


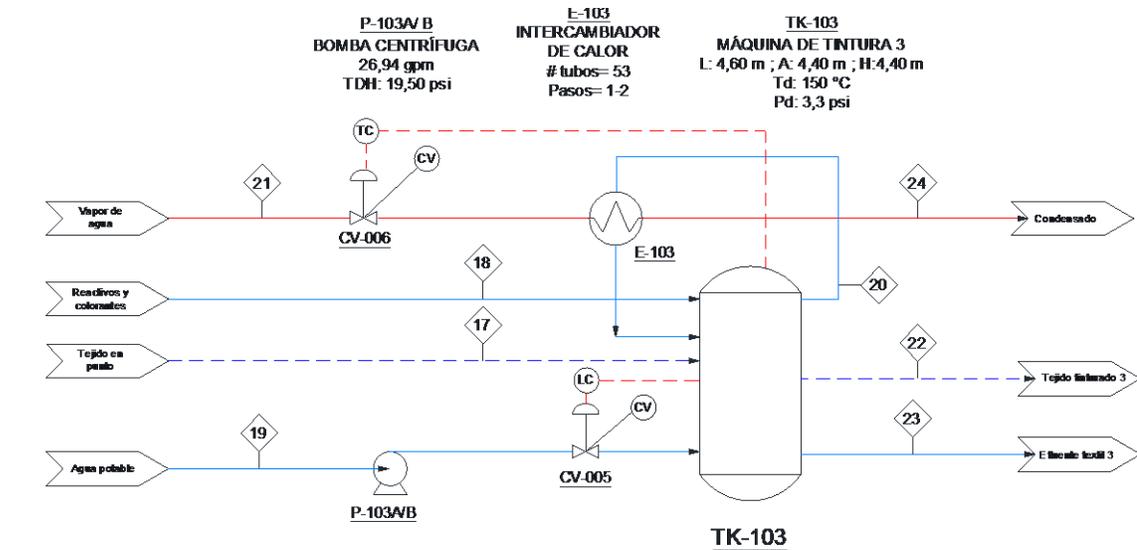
Diagrama de flujo PFD

Figura 3.4. Diagrama de flujo parte 1



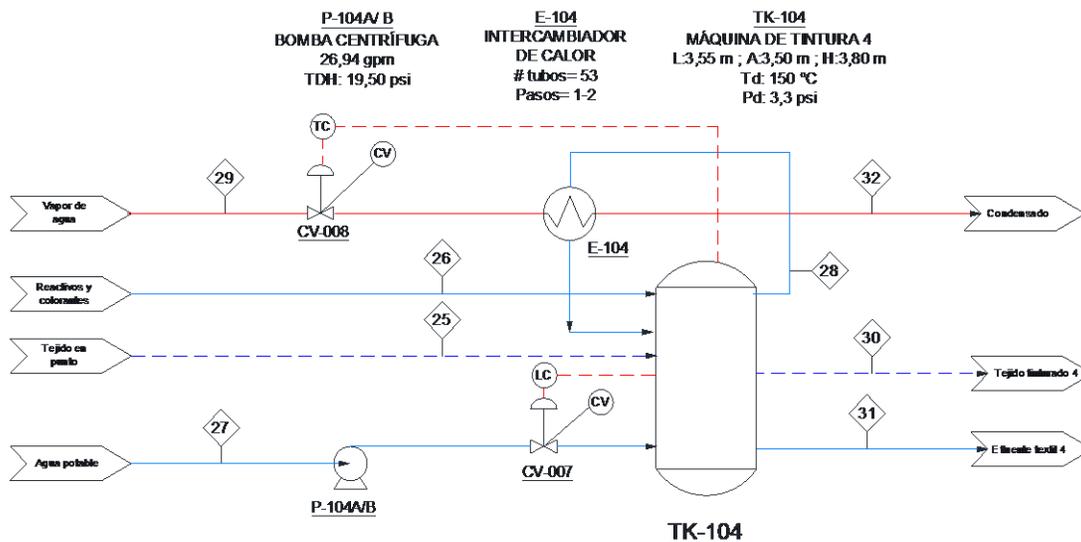
Número de corriente	9	10	11	12	13	14	15	16
Descripción de la corriente	Tejido en punto	Reactivos y colorantes	Agua Potable	Flejo intercambiador	Vapor de agua	Tejido tinturado 2	Efluente textil 2	Condensado
Flujo volumétrico (gpm)	--	--	26,94	12,69	628,70	--	12,25	628,70
Flujo másico (kg/hrs)	276,00	127,76	25 818,00	3 800,43	1 092,11	673,15	25 548,61	1 092,11
Temperatura de operación (°C)	18,18	18,18	18,18	130,00	160,00	60	60	160,00
Presión de operación (atm)	0,72	0,72	0,72	3,00	8,94	0,72	0,72	8,94
Densidad (kg/m ³)	--	--	993,29	1 000	3,42	--	1 000	--
Viscosidad (cP)	--	--	1	1	--	--	1	--
Estado físico	Sólido	Sólido	Líquido	Líquido	Gaseoso	Sólido	Líquido	Líquido

Figura 3.5. Diagrama de flujo parte 2



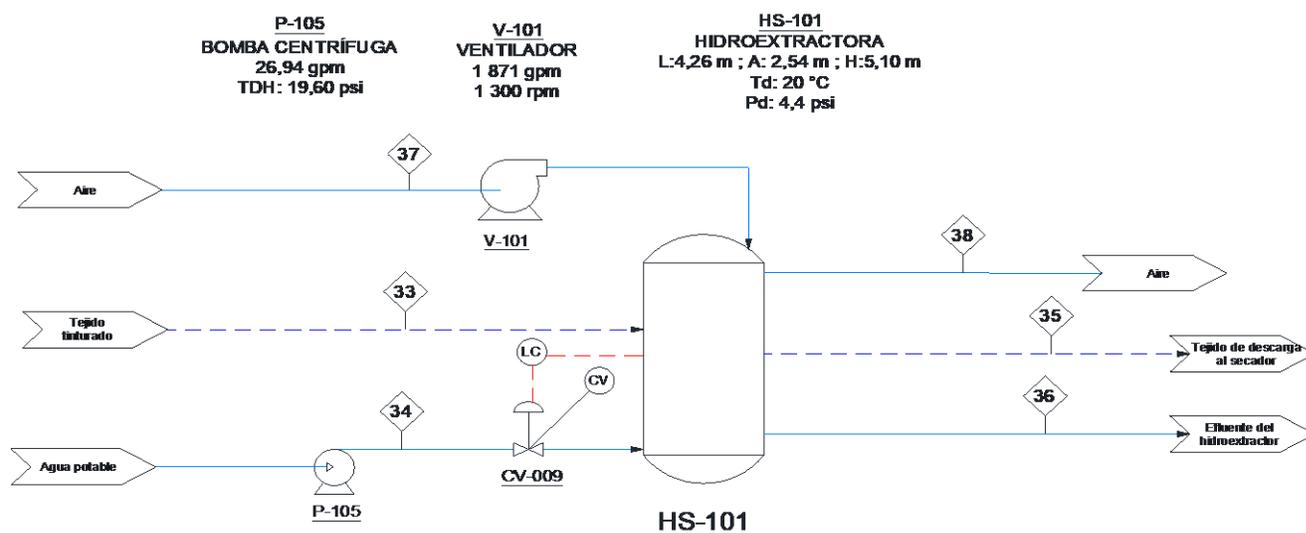
Número de corriente	17	18	19	20	21	22	23	24
Descripción de la corriente	Tejido en punto	Reactivos y colorantes	Agua Potable	Flujo intercambiador	Vapor de agua	Tejido tinturado 3	Efluente textil 3	Condensado
Flujo volumétrico (gpm)	—	—	26,94	12,69	628,70	—	12,25	628,70
Flujo másico (kg/lote)	321,30	127,83	25 818,00	3 800,43	1 092,11	784,63	25 483,50	1 092,11
Temperatura de operación (°C)	18,18	18,18	18,18	130,00	160	60	60	160,00
Presión de operación (atm)	0,72	0,72	0,72	3,00	8,94	0,72	0,72	8,94
Densidad (kg/m ³)	—	—	993,29	1 000	3,42	—	1 000	—
Viscosidad (cP)	—	—	1	1	—	—	1	—
Estado físico	Sólido	Sólido	Líquido	Líquido	Gaseoso	Sólido	Líquido	Líquido

Figura 3.6. Diagrama de flujo parte 3



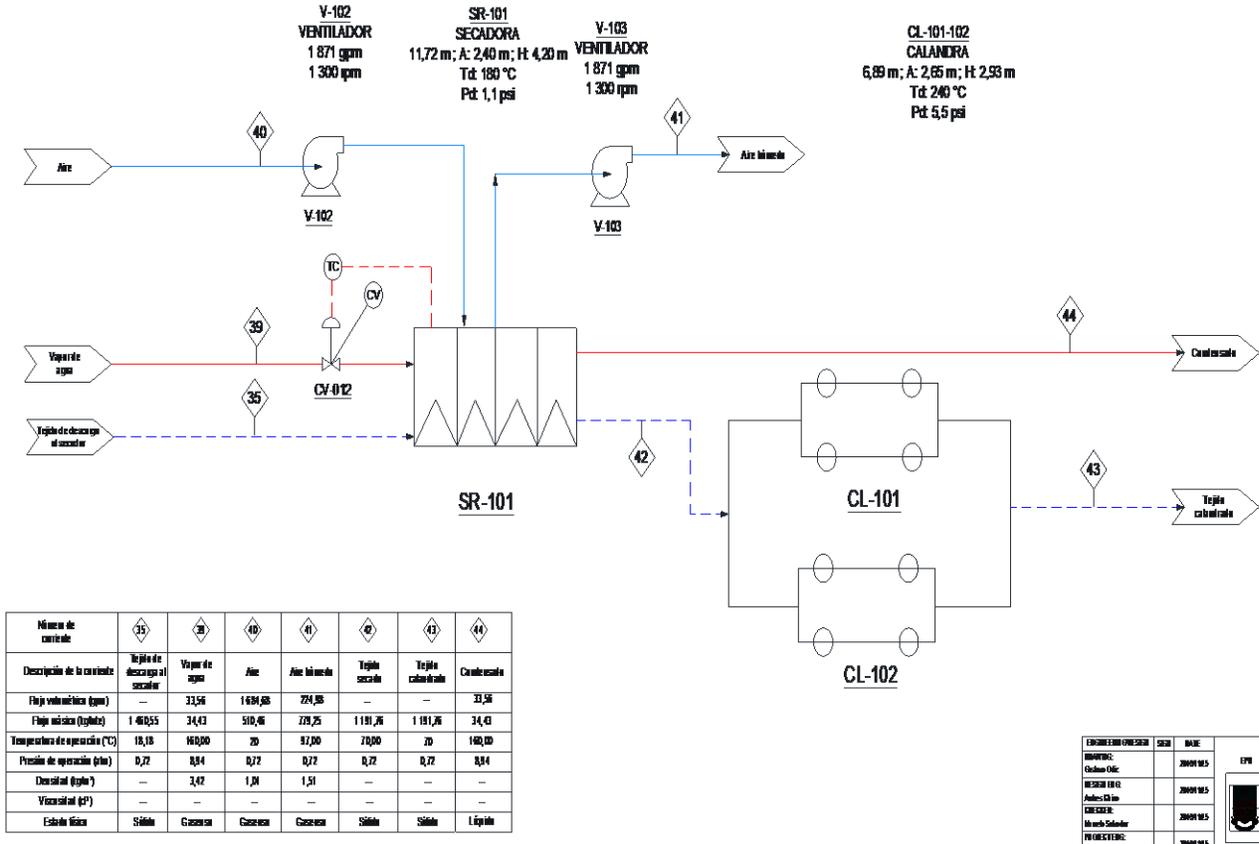
Número de corriente	25	26	27	28	29	30	31	32
Descripción de la corriente	Tejido en punto	Reactivos y colorantes	Agua Potable	Flujo intercambiador	Vapor de agua	Tejido tinturado 3	Eluyente textil 4	Condensado
Flujo volumétrico (gpm)	—	—	26,94	12,69	628,70	—	12,25	628,70
Flujo másico (kg/día)	144,44	127,54	25 818,00	3 800,43	1 092,11	352,28	25 737,70	1 092,11
Temperatura de operación (°C)	18,18	18,18	18,18	130,00	160	60	60	160,00
Presión de operación (atm)	0,72	0,72	0,72	3,00	8,94	0,72	0,72	8,94
Densidad (kg/m ³)	—	—	998,29	1 000	3,42	—	1 000	—
Viscosidad (cP)	—	—	1	1	—	—	1	—
Estado físico	Sólido	Sólido	Líquido	Líquido	Gaseoso	Sólido	Líquido	Líquido

Figura 3.7. Diagrama de flujo parte 4



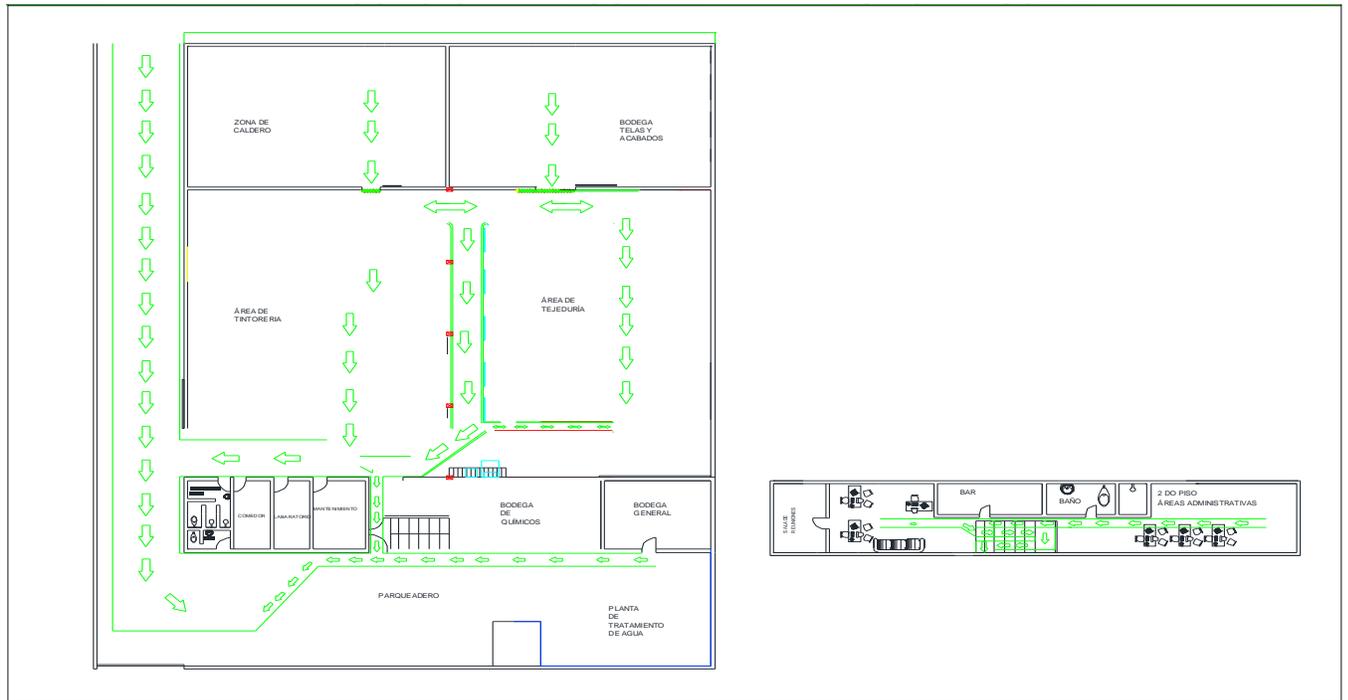
Número de corriente	33	34	35	36	37	38
Descripción de la corriente	Tejido tinturado	Agua potable	Tejido de descarga al secador	Eluyente del hidroextractor	Aire	Aire
Flujo volumétrico (gpm)	—	26,94	—	9,47	161,01	161,01
Flujo másico (kg/día)	2 875,18	720,00	1 460,55	2 134,63	600	600
Temperatura de operación (°C)	20	18,18	18,18	18,18	20	15
Presión de operación (atm)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	3,00
Densidad (kg/m ³)	—	998,29	—	998,29	1,01	1,01
Viscosidad (cP)	—	1	—	1	—	—
Estado físico	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido	Gaseoso	Gaseoso

Figura 3.8. Diagrama de flujo parte 5



Disposición Layout

Figura 3.9. Layout de la distribución de la planta.



Conclusiones

El paso principal para la implementación o propuesta de cualquier diseño, consiste en el reconocimiento y análisis de todas las variables adecuadas, con el fin de obtener el resultado deseado. En este caso el punto de partida es la optimización de los procesos químicos, que brinda un gran aporte al estudio de ingeniería en plantas textiles.

El diseño presentado a la Industria Tornasol, resuelve una temática de mucho control y cuidado, controlando los principales procesos químicos para la producción de acabados textiles como tejidos y algodón, además que busca el correcto uso de los recursos en la empresa, teniendo como enfoque principal la reutilización y optimización.

Referencias

1. Albrecht, W., Fuchs, H. y Kittelmann, W. (2003). *Nonwoven Fabrics: Raw materials, manufacture, applications, characteristics, testing processes*. Heppenheim, Alemania: WILEY-VCH.
2. API 620. (2002). *Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks*. Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/api.620.2002.pdf> (Septiembre, 2016).
3. Asociación de Industriales Textiles del Ecuador AITE. (2016). *Estadísticas de importación de bienes textiles por tipo de producto en el año 2014-2015*. Recuperado de: <http://www.aite.com.ec/estadisticas-de-comercio-exterior-textil-77288.html> (Septiembre, 2016).
4. ASTM A 516. (2000). *Pressure vessel Steel*. Recuperado de: <http://www.ferrocortes.com.co/download/FT-11-001-ASTM-A516-GR70.pdf> (Noviembre, 2016).
5. Banco Central del Ecuador. (2017). *Indicadores económicos*. Recuperado de: <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/754> (Febrero, 2017).
6. Casals, M., Dolors, M. y Roca, X. (2001). *Complejos Industriales*. Barcelona, España: Edicions UPC.
7. Castells, X. (2005). *Tratamiento y Valorización energética de residuos*. Barcelona, España: Fundación Universitaria Iberoamericana.
8. Che-Seung, C., Byeong-mMook, y C., Moo-Jin, P. (2005). *Development of Real-Time Vision-Based Fabric Inspection System*. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, VOL 52, N°4. pp. 1073-1079. doi: 10.1109/TIE.2005.851648
9. Choudhury, R. (2006). *Textile Preparation and Dyeing*. New Hampshire, Estados Unidos de América: Science Publishers.
10. Cie, C. (2015). *Ink Jet Textile Printing*. Cambridge, Inglaterra: ELSEVIER: The Textile Institute.
11. De la Fuente, D. y Fernández, I. (2005). *Distribución en Planta*. Asturias, España: Editorial Universidad de Oviedo (Junio, 2016).
12. DIN 22101. (2002). *Continuous conveyors- Belt conveyors for loose bulk materials, basics for calculation and dimensioning*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/146209844/DIN-22101-e-pdf> (Septiembre, 2016).

13. Fúquene, C. (2007). Producción limpia, contaminación y gestión ambiental. Bogotá, Colombia: Editorial Pontifica Universidad Javeriana.
14. Giancoli, D. (2006). Física: Principios con aplicaciones vol. 1. (6ta ed.). Naucalpan de Juárez, México: PEARSON Prentice Hall.
15. Groover, M. (2000). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. (2da ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Prentice Hall.
16. Halmos G. (2006). Roll Forming Handbook. Toronto, Canadá: CRC Taylor & Francis Group.
17. Incropera, F., DeWitt, D. y Lavine A. (2007). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. (6ta ed.). Jefferson City, Estados Unidos de América: John Wiley & Sons.
18. Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social (ILPES). (2006). Guía para la presentación de proyectos. (27ma ed.). México D.F., México: Siglo Veintiuno Editores.
19. Lacasse, K. y Baumann, W. (2004). Textile Chemicals: Environmental Data and Facts. Dortmund, Alemania: Springer.
20. Lockuán, F. (2012). La Industria Textil y su control de Calidad V-VI. México D.F., México: UL.
21. Méndez, R., Vidal, G., Loberl, K. y Márquez, F. (2007). Producción limpia en la industria de Curtiembre. Coruña, España: Editorial Imprenta Universitaria.
22. Navarro, P. y Pérez, J. (2003). Manual de Química de las Disoluciones. (2da ed.). Alicante, España: Editorial Club Universitario.
23. Perry, R. (2000). Chemical Engineer Handbook. Tomo III. (6th ed.). New York, Estados Unidos de Norte América: McGraw-Hill
24. Peters, M. y Timmerhaus, K. (2002). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Tokio: McGraw-Hill.
25. Pineda, L. y Jara, M. (2010). Prospectiva y vigilancia tecnológica en la cadena fibra-textil-confecciones. Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario.
26. Rehbein, M. (2009). Digital textile printing and the influence on design. Múnich, Alemania: GRIN Verlag GmbH.
27. Sinnott, R. (2005). Chemical Engineering Design. (4ta ed.). Londres, Inglaterra: Elsevier.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).