



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

***Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID***

***Design of a plant on tubular knitted fabric for the litmus industry, seeking the optimization of chemical processes, through the use of mass balance, energy and P&ID diagrams***

***Projeto de uma planta de malha tubular para a indústria de tornassol, buscando a otimização de processos químicos, através da utilização de balanço de massa, energia e diagramas P&ID***

Hugo Javier Sánchez<sup>I</sup>  
[hugoj.sanchez@esPOCH.edu.ec](mailto:hugoj.sanchez@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-0074-3237>

Gustavo Ortiz-Campo<sup>II</sup>  
[tustavo.go@gmail.com](mailto:tustavo.go@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-7128-3675>

Georgina Ipatia Moreno<sup>III</sup>  
[gmoreno@esPOCH.edu.ec](mailto:gmoreno@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9400-7064>

Segundo Hugo Calderón<sup>IV</sup>  
[hcalderon@esPOCH.edu.ec](mailto:hcalderon@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9213-9717>

Alex Ricardo Guamán<sup>V</sup>  
[alexr.guaman@esPOCH.edu.ec](mailto:alexr.guaman@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8862-8350>

**Correspondencia:** [hugoj.sanchez@esPOCH.edu.ec](mailto:hugoj.sanchez@esPOCH.edu.ec)

\***Recibido:** 29 de noviembre del 2022 \***Aceptado:** 28 de diciembre del 2022 \* **Publicado:** 18 de enero del 2023

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

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

## Resumen

El actual desarrollo y crecimiento de la industria textil ha generado un gran aporte de producción económica al país, incrementando notablemente las exportaciones de acabados textiles, pero también es una de las principales fuentes de contaminación, por lo cual se busca diseñar una planta sobre tejido de punto tubular para la empresa INDUSTRIALES TEXTILES TORNASOL con la finalidad de invertir eficientemente en equipos para reducir la contaminación ambiental y utilizar de manera apropiada la materia prima. En la presente investigación se consideró la realización de componentes de línea principal y el dimensionamiento de los equipos auxiliares mediante dos procesos: balance de masa que se obtendrá del proceso de tinturación, y balance de energía analizado a partir de la demanda de vapor requerido, de los principales equipos de la planta. Además, se realizaron diagramas PID con el fin resolver una temática de mucho control e instrumentación de los principales procesos químicos.

**Palabras clave:** Balance de Masa; Balance de Energía; Diagrama de Flujo (PID); Industria textil; Procesos químicos.

## Abstract

The current development and growth of the textile industry has generated a great contribution of economic production to the country, significantly increasing exports of finished textiles, but it is also one of the main sources of pollution, for which it is sought to design a plant on textile fabric. tubular knitting for the company INDUSTRIALES TEXTILES TORNASOL in order to invest efficiently in equipment to reduce environmental pollution and use the raw material appropriately. In the present investigation, the realization of main line components and the sizing of auxiliary equipment were considered through two processes: mass balance that will be obtained from the dyeing process, and energy balance analyzed from the required steam demand, in order to the main equipment of the plant. In addition, PID diagrams were made in order to solve a subject of much control and instrumentation of the main chemical processes.

**Keywords:** Mass Balance; Energy balance; Flow Diagram (PID); Textile industry; chemical processes.

## Resumo

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

O actual desenvolvimento e crescimento da indústria têxtil tem gerado um grande contributo da produção económica para o país, aumentando significativamente as exportações de têxteis acabados, mas é também uma das principais fontes de poluição, para a qual se procura projectar uma fábrica em tecido têxtil malharia tubular para a empresa INDUSTRIALES TEXTILES TORNASOL com o objetivo de investir com eficiência em equipamentos para reduzir a poluição ambiental e utilizar a matéria-prima de forma adequada. Na presente investigação, a realização dos principais componentes da linha e o dimensionamento dos equipamentos auxiliares foram considerados através de dois processos: balanço de massa que será obtido a partir do processo de tingimento, e balanço de energia analisado a partir da demanda de vapor necessária, para que o equipamento principal da planta. Além disso, diagramas PID foram feitos a fim de resolver um assunto de muito controle e instrumentação dos principais processos químicos.

**Palavras-chave:** Balanço de Massa; Equilíbrio energético; Diagrama de Fluxo (PID); Indústria têxtil; processos químicos.

## Introducción

El actual desarrollo y crecimiento de la industria textil durante los años 2018 a 2021 (67,12 % según datos de la AITE) ha generado que las industrias inviertan en la adquisición de equipos para aumentar la producción en los procesos de acabados textiles, esto con lleva a un incremento en la generación de contaminación auditiva por el ruido de los equipos, contaminación atmosférica por fuentes fijas y principalmente efluentes líquidos debido a los procesos de tinturación (Fúquene, 2007, pp. 56-57).

Una de las ramas de investigación más importantes para las industrias es la optimización de sus recursos y de los tiempos de operación, debido a que la tinturación de las fibras de poliéster en el tejido debe realizarse en sistemas Overflow discontinuos, estos necesitan alcanzar una temperatura de baño de 130 °C y es necesario la aplicación de alternativas tecnológicas en las operaciones posteriores entre las cuales existe el exprimido de la tela mediante hidroextracción el cual es un proceso continuo que permite la eliminación del agua de la tela mediante presión a través de una serie de rodillos (Lockuán, 2012, pp. 19-20).

En la actualidad se han realizado varios estudios de producción más limpia en las industrias textiles con el fin de disminuir los contaminantes al ambiente y aprovechar de mejor manera los recursos económicos, materiales y energéticos. Esta evaluación se hace mediante análisis de los balances de masa y energía (Méndez R. y Vidal G., 2007, p 246). El proceso más analizado para dichos estudios

## Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

es el de tinturación ya que determina la producción final en la planta y proporciona todo el balance de masa de la misma (Russell, 2013, pp. 169-176).

Con estos antecedentes el proyecto busca diseñar una línea de procesamiento del tejido de punto de poliéster-algodón con alternativas tecnológicas que permitan optimizar los procesos químicos, además incrementar la producción de la fábrica a 30 t/mes, para lo cual requiere de los estudios de ingeniería química y de detalle.

### Metodología

Para el diseño de la planta de acabados textiles, se realizará una evaluación sobre la descripción del proceso, balance de masa, balance de energía, diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) y control.

### Determinación del balance de masa

El diseño de la línea de acabados textiles deberá ser dimensionado para un procesamiento de tela cruda de 30 t/mes los cuales deberán ser ajustados para una jornada de 24 días laborables durante el mes, el balance de masa está centrado directamente en el proceso de tinturación de la tela debido a que es en dicha operación en donde se tiene el consumo de agua, colorantes y auxiliares químicos (Pineda, L. y Jara, M., 2010, pp. 41-44).

El proceso de tinturación del tejido de poliéster-algodón consta de 5 etapas las cuales son: preblanqueo y descrude, tinturación de la fibra de poliéster, neutralizado, tinturación de la fibra de algodón, lavado y fijación del colorante (Cie C., 2015, pp. 43-57), el balance de masa se realizará tomando en cuenta la receta de tinturación la cual será proporcionada por el laboratorio de la fábrica en donde se especificará las cantidades de los insumos químicos y la relación de baño en cada etapa de la tinturación, la cantidad de colorante que ingresa al proceso está determinada directamente por la cantidad de tela a teñir, con estos datos se procederá a calcular la cantidad de agua que ingresa a cada etapa de tinturación (Rehbein M., 2009, pp. 2-4).

Los colorantes tanto dispersos como los reactivos utilizados para la tinturación del tejido poliéster-algodón no se impregnan o reaccionan en su totalidad para lo cual se deberá calcular la cantidad de colorante que se retiene en el baño mediante un análisis por espectrofotometría UV-VIS tanto para el colorante disperso como para el colorante reactivo, para el colorante disperso ALLILION AZUL C-2R y ALLILION AZUL SGL se realizará un barrido espectrofotométrico entre 400-650 nm con una

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

concentración de 0,036 g/L para determinar la longitud de onda óptima, posteriormente se tomarán concentraciones 0,012, 0,024, 0,036 y 0,048 g/L para determinar la curva de calibración del colorante y mediante la ley de Lambert-Beer se obtendrá la relación entre la absorbancia y la concentración (Vera, G. y Lidija, T., 1999, pp. 212-214).

Posteriormente se realizarán 4 ensayos de tinturación a nivel de laboratorio usando los equipos de la fábrica del tejido para el tejido en punto tubular de poliéster-algodón utilizando la receta de laboratorio, se procederá a recolectar 2 mL del baño final y se llevará a analizar mediante espectrofotometría para conocer la absorbancia y su concentración final en el baño, se tomará un valor promedio de concentración de colorante en el baño final con lo cual se podrá determinar el porcentaje de colorante para los balances de masa (Cevdet, D., Saliha, Ş. y Şeref, G., 2007, pp. 369-371).

## Cálculos del balance de masa

### Balance de masa en los equipos de tinturación



Figura 1: Balance de masa en la máquina Fong's

Volumen de llenado de la máquina= 2 600 L de agua.

Capacidad de tela cargada= 437,12 kg.

Densidad del agua = 993 kg/L (a T=20 °C)

Para la realización del balance de masa se aplica la Ecuación 1.1. considerando que los procesos de tinturación son realizados de forma batch.

$$A=E-S+G-C \quad [2.1]$$

Donde:

A: acumulación (kg)

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

E: entrada de flujo másico al sistema (kg)

S: salida del producto del sistema (kg)

G: generación en caso de reacción (kg)

C: consumo de materia en una reacción (kg)

Al tratarse de un proceso batch, sin reacción, tampoco existe generación de productos dentro del baño, por lo que la Ecuación 2.1 se reduce a la Ecuación 2.2.

$$A=E-S \quad [2.2]$$

Donde se considera como acumulación la masa de colorante y agua que se queda en la tela.

En el primer baño se toma la consideración que la tela absorbe una cierta cantidad de agua la cual se determinó pesando 10 g de tela cruda y empapándola con agua para posteriormente volverla a pesar, en la Tabla 2.1. se muestra la variación del peso.

**Figura 2:** Peso de la tela cruda y mojada

Especificación	Peso [g]
Tela cruda	10,0432
Tela mojada	15,0648

De la Tabla 2.1 se puede determinar que el peso de la tela mojada es aproximadamente 1,50 del peso de la tela cruda.

Balance de materia del proceso de descrude:

$$\text{Res}=\text{Reactivo ESTABLUPER}$$

$$\text{Res}=\text{volumen de llenado} \cdot 1,00 \text{ (g de reactivo)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{Res}=2\,600 \text{ L} \cdot 1,00 \text{ (g de reactivo)} / (\text{L de agua})=2\,600,00 \text{ g de Res}$$

$$\text{Res}=2,60 \text{ kg}$$

$$\text{Na(OH)}=\text{volumen de llenado} \cdot 1,00 \text{ (g de sosa caustica)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{Na(OH)}=2\,600 \text{ L} \cdot 1,00 \text{ (g de sosa caustica)} / (\text{L de agua})=2\,600,00 \text{ g de sosa}$$

$$\text{Na(OH)}=2,60 \text{ kg de sosa}$$

$$\text{H}_2\text{O}_2=\text{agua de llenado} \cdot 1,20 \text{ (g H}_2\text{O}_2) / (\text{L de agua})$$

$$\text{H}_2\text{O}_2=2\,600 \text{ L} \cdot 1,20 \text{ (g H}_2\text{O}_2) / (\text{L de agua})=3\,120,00 \text{ g H}_2\text{O}_2$$

$$\text{H}_2\text{O}_2=3,12 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_1=2\,600 \text{ L}+\text{Na(OH)}+\text{Res}+\text{H}_2\text{O}_2\text{-agua en tela+impurezas del descrude}$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

Las impurezas del descrude hace referencia al 6,19 % de pérdida.

$$\text{Efluentes}_1 = 2\,600 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} + 2,60 \text{ kg} + 2,60 \text{ kg} + 3,12 \text{ kg} - (1,50 * 437,12 \text{ kg}) + (0,062 * 437,12 \text{ kg})$$

$$\text{Efluentes}_1 = 1\,961,64 \text{ kg}$$

Es necesario realizar un proceso de enjuague posterior a cada proceso de tinturación debido a que siempre quedan restos de insumos químicos impregnados en la tela, las cuales pueden manchar la tela o en su defecto reaccionar con algún colorante o insumo del posterior proceso.

El proceso de enjuague se realiza 2 veces:

$$\text{Efluentes}_2 = 2\,600 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} * 2,00 = 5\,163,60 \text{ kg}$$

Balance de masa en la tinturación del poliéster:

$$\text{Acc} = \text{ácido cítrico}$$

$$\text{Acc} = \text{agua de llenado} * 0,65 \text{ (g Acc)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{Acc} = 2\,600 \text{ L} * 0,65 \text{ (g Acc)} / (\text{L de agua}) = 1\,690,00 \text{ g}$$

$$\text{Acc} = 1,69 \text{ kg}$$

$$\text{Rav} = \text{Reactivo DISPERSOL JET}$$

$$\text{Rav} = \text{volumen de llenado} * 1,00 \text{ (g de Rav)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{Rav} = 2\,600 \text{ L} * 1,00 \text{ (g de reactivo)} / (\text{L de agua}) = 2\,600,00 \text{ g}$$

$$\text{Rav} = 2,60 \text{ kg}$$

$$\text{Cazs} = \text{colorante AMARILLO DISPERSO 4G}$$

$$\text{Cazs} = \text{kg de tela} * 0,56 \text{ (g de Cazs)} / (\text{kg de tela})$$

$$\text{Cazs} = 437,12 \text{ kg} * 0,56 \text{ (g de Cazs)} / (\text{kg de tela}) = 240,00 \text{ g}$$

$$\text{Cazs} = 0,24 \text{ kg}$$

$$\text{Cac} = \text{colorante ALLILION AMARILLO H3R}$$

$$\text{Cac} = \text{kg de tela} * 0,013 \text{ (g de Cac)} / (\text{kg de tela})$$

$$\text{Cac} = 437,12 \text{ kg} * 0,013 \text{ (g de Cac)} / (\text{kg de tela}) = 5,68 \text{ g de Cac}$$

$$\text{Cac} = 0,006 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_3 = 2\,600 \text{ L} * 0,993 \text{ kg/L} + \text{Acc} + \text{Rav} + 0,06 * \text{Cazs} + 0,06 * \text{Cac}$$

$$\text{Efluentes}_3 = 2\,586,11 \text{ kg}$$

Balance de agua en el proceso de enjuague:

$$\text{Efluentes}_4 = 2\,600 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} = 2\,581,80 \text{ kg}$$

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación del algodón:

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

Erp=Reactivo EUROLEVEL

Erp=volumen de llenado\*1,00 (g de Erp)/(L de agua)

Erp=2 600 L\*1,00 (g de reactivo)/(L de agua)=2 600,00 g

Erp=2,60 kg

Cra=colorante AMARILLO REACTIVO ME4GL

Cra=kg de tela\*0,73 (g de Cac)/(kg de tela)

Cra=437,12 kg\*0,73 (g de Cra)/(kg de tela)=319,09 g

Cra=0,32 kg

Crr=colorante AMARILLO REACTIVO ED

Crr=kg de tela\*0,36 (g de Cac)/(kg de tela)

Crr=437,12 kg\*0,36 (g de Cra)/(kg de tela)=157,36 g

Crr=0,16 kg

NaCl=volumen de llenado\* 50,00 (g de sal industrial)/(L de agua)

NaCl=2 600 L\* 50,00 (g de sal industrial)/(L de agua)=130 000,00 g

NaCl=130,00 kg

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>= 2 600 L\* 5,00 (g)/(L de agua)=13 000,00 g

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>=13,00 kg

Na(OH)=2 600 L\* 1,00 (g de sosa caustica)/(L de agua)=2 600,00 g de sosa

Na(OH)=2,60 kg

Efluentes<sub>5</sub>=2 600 L \*0,993 kg/L+NaCl+Erp+0,61\*Cra+0,65\*Crr+Na(OH)+Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Efluentes<sub>5</sub>=2 730,30 kg

Balance de reactivos y agua para neutralizado:

CH<sub>3</sub>COOH= 2 600 L\* 0,30 (g)/(L de agua)

CH<sub>3</sub>COOH=0,78 kg

Efluentes<sub>6</sub>=2 600 L agua\*0,993 kg/L+0,78 kg=2 582,32 kg

Balance de agua en proceso de lavado:

Erp=Reactivo EUROLEVEL

Erp=2 600 L\*0,20 (g de reactivo)/(L de agua)=520,00 g

Erp=0,52 kg

Efluentes<sub>7</sub>=2 600 L agua\*0,993 kg/L+0,52 kg=2 582,32 kg

Balance de agua en proceso de 4 enjuagues:

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

$$\text{Efluentes}_7 = 2\,600 \text{ L agua} \cdot 0,993 \text{ kg/L} \cdot 4,00 = 10\,327,20 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de fijación:

$$\text{CH}_3\text{COOH} = 2\,600 \text{ L} \cdot 0,30 \text{ (g)/(L de agua)}$$

$$\text{CH}_3\text{COOH} = 0,78 \text{ kg}$$

$$Q_{ym} = \text{Reactivo AV FIX PF 20}$$

$$Q_{ym} = 2\,600 \text{ L} \cdot 1,00 \text{ (g de reactivo)/(L de agua)} = 2\,600 \text{ g}$$

$$Q_{ym} = 2,60 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_8 = 2\,600 \text{ L agua} \cdot 0,993 \text{ kg/L} + 2,60 \text{ kg} + 0,78 \text{ kg} = 2\,585,18 \text{ kg}$$

$$\text{Tela tinturada} = \text{tela cruda} + \text{agua} + \text{reactivos} - \text{efluentes totales}$$

$$\text{Tela tinturada} = 437,12 \text{ kg} + 33\,563,40 \text{ kg} + 166,21 \text{ kg} - 33\,100,62 \text{ kg}$$

$$\text{Tela tinturada} = 1\,066,11 \text{ kg}$$

Balance de masa en la máquina Thies:



Figura 3: Balance de masa en la máquina Thies

Datos:

Volumen de llenado de la maquina= 2 000 L de agua

Capacidad máxima de carga de la maquina= 275,88 kg de tela cruda.

Balance de masa del proceso de descrude:

$$\text{Res} = \text{Reactivo ESTABLUPER}$$

$$\text{Res} = \text{volumen de llenado} \cdot 1,00 \text{ (g de reactivo)/(L de agua)}$$

$$\text{Res} = 2\,000 \text{ L} \cdot 1,00 \text{ (g de reactivo)/(L de agua)} = 2\,000,00 \text{ g de Res}$$

$$\text{Res} = 2,00 \text{ kg}$$

$$\text{Na(OH)} = \text{volumen de llenado} \cdot 1,00 \text{ (g de sosa caustica)/(L de agua)}$$

$$\text{Na(OH)} = 2\,000 \text{ L} \cdot 1,00 \text{ (g de sosa caustica)/(L de agua)} = 2\,000,00 \text{ g de sosa}$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

$$\text{Na(OH)}=2,00 \text{ kg de sosa}$$

$$\text{H}_2\text{O}_2=\text{agua de llenado}*1,20 \text{ (g H}_2\text{O}_2\text{)/(L de agua)}$$

$$\text{H}_2\text{O}_2=2\ 000 \text{ L}*1,20 \text{ (g H}_2\text{O}_2\text{)/(L de agua)}=2\ 400,00 \text{ g H}_2\text{O}_2$$

$$\text{H}_2\text{O}_2=2,40 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{1.1}=2\ 000 \text{ L}+\text{Na(OH)}+\text{Res}+\text{H}_2\text{O}_2\text{-agua en tela+impueas del descruce}$$

$$\text{Efluentes}_{1.1}=2\ 000 \text{ L agua}*0,993 \text{ kg/L}+2,00 \text{ kg}+2,00 \text{ kg}+2,40 \text{ kg}-(1,50*275,88)+(0,062*275,88)$$

$$\text{Efluentes}_{1.1}=1\ 595,51 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de enjuague:

$$\text{Efluentes}_{2.1}=2\ 000 \text{ L agua}*0,993 \text{ kg/L}*2,00=3\ 972 \text{ kg}$$

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación poliéster:

$$\text{Acc}=\text{agua de llenado}*0,65 \text{ (g Acc)/(L de agua)}$$

$$\text{Acc}=2\ 000 \text{ L}*0,65 \text{ (g Acc)/(L de agua)}=1\ 300,00 \text{ g Acc}$$

$$\text{Acc}=1,30 \text{ kg}$$

$$\text{Rav}=\text{Reactivo DISPERSOL JET}$$

$$\text{Rav}=\text{volumen de llenado}*1,00 \text{ (g de Rav)/(L de agua)}$$

$$\text{Rav}=2\ 000 \text{ L}*1,00 \text{ (g de reactivo)/(L de agua)}=2\ 000 \text{ g de Rav}$$

$$\text{Rav}=2,00 \text{ kg}$$

$$\text{Cazs}=\text{colorante AMARILLO DISPERSO 4G}$$

$$\text{Cazs}=\text{kg de tela}*0,56 \text{ (g de Cazs)/(kg de tela)}$$

$$\text{Cazs}=276 \text{ kg}*0,56 \text{ (g de Cazs)/(kg de tela)}=154,56 \text{ g}$$

$$\text{Cazs}=0,15 \text{ kg}$$

$$\text{Cac}=\text{colorante ALLILION AMARILLO H3R}$$

$$\text{Cac}=\text{kg de tela}*0,01 \text{ (g de Cac)/(kg de tela)}$$

$$\text{Cac}=276 \text{ kg}*0,01 \text{ (g de Cac)/(kg de tela)}=2,76 \text{ g de Cac}$$

$$\text{Cac}=0,003 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{3.1}=2\ 000 \text{ L}*0,993 \text{ kg/L}+\text{Acc}+\text{Rav}+0,06*\text{Cazs}+0,06*\text{Cac}$$

$$\text{Efluentes}_{3.1}=1\ 989,31 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de enjuague:

$$\text{Efluentes}_{4.1}=2\ 000 \text{ L agua}*0,993 \text{ kg/L}=1\ 986,00 \text{ kg}$$

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación del algodón:

$$\text{Erp}=\text{Reactivo EUROLEVEL}$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

$$\text{Erp} = \text{volumen de llenado} * 1,00 \text{ (g de Erp)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{Erp} = 2\,000 \text{ L} * 1,00 \text{ (g de reactivo)} / (\text{L de agua}) = 2\,000,00 \text{ g}$$

$$\text{Erp} = 2,00 \text{ kg}$$

$$\text{Cra} = \text{colorante AMARILLO REACTIVO ME4B}$$

$$\text{Cra} = \text{kg de tela} * 0,73 \text{ (g de Cac)} / (\text{kg de tela})$$

$$\text{Cra} = 276 \text{ kg} * 0,73 \text{ (g de Cra)} / (\text{kg de tela}) = 201,49 \text{ g}$$

$$\text{Cra} = 0,20 \text{ kg}$$

$$\text{Crr} = \text{colorante AMARILLO REACTIVO ED}$$

$$\text{Crr} = \text{kg de tela} * 0,36 \text{ (g de Cac)} / (\text{kg de tela})$$

$$\text{Crr} = 276 \text{ kg} * 0,36 \text{ (g de Cra)} / (\text{kg de tela}) = 99,36 \text{ g}$$

$$\text{Crr} = 0,10 \text{ kg}$$

$$\text{NaCl} = \text{volumen de llenado} * 50,00 \text{ (g de sal industrial)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{NaCl} = 2\,000 \text{ L} * 50,00 \text{ (g de sal industrial)} / (\text{L de agua}) = 100\,000,00 \text{ g}$$

$$\text{NaCl} = 100,00 \text{ kg}$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 2\,000 \text{ L} * 5,00 \text{ (g)} / (\text{L de agua}) = 10\,000,00 \text{ g}$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 10,00 \text{ kg}$$

$$\text{Na(OH)} = 2\,000 \text{ L} * 1,00 \text{ (g de sosa caustica)} / (\text{L de agua}) = 2\,000 \text{ g de sosa}$$

$$\text{Na(OH)} = 2,00 \text{ kg de sosa}$$

$$\text{Efluentes}_{5.1} = 2\,000 \text{ L} * 0,993 \text{ kg/L} + \text{NaCl} + \text{Erp} + 0,61 * \text{Cra} + 0,65 * \text{Crr} + \text{Na(OH)} + \text{Na}_2\text{CO}_3$$

$$\text{Efluentes}_{5.1} = 2\,100,19 \text{ kg}$$

Balance de reactivos y agua para neutralizado:

$$\text{CH}_3\text{COOH} = 2\,000 \text{ L} * 0,30 \text{ (g)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{CH}_3\text{COOH} = 0,60 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{6.1} = 2\,000 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} + 0,60 \text{ kg} = 1\,986,40 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de lavado:

$$\text{Erp} = \text{Reactivo EUROLEVEL}$$

$$\text{Erp} = 2\,000 \text{ L} * 0,20 \text{ (g de reactivo)} / (\text{L de agua}) = 400,00 \text{ g}$$

$$\text{Erp} = 0,40 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_7 = 2\,000 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} + 0,40 \text{ kg} = 1\,986,40 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de 4 enjuagues:

$$\text{Efluentes}_{7.1} = 2\,000 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} * 4,00 = 7\,944 \text{ kg}$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

Balance de agua en proceso de fijación:

$$\text{CH}_3\text{COOH} = 2\,000\text{ L} * 0,30\text{ (g)/(L de agua)}$$

$$\text{CH}_3\text{COOH} = 0,60\text{ kg}$$

$$Q_{ym} = \text{Reactivo AV FIX PF 20}$$

$$Q_{ym} = 2\,000\text{ L} * 1,00\text{ (g de reactivo)/(L de agua)} = 2\,000\text{ g}$$

$$Q_{ym} = 2,00\text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{8.1} = 2\,000\text{ L agua} * 0,993\text{ kg/L} + 2,60\text{ kg} = 1\,988,60\text{ kg}$$

$$\text{Tela tinturada} = \text{tela cruda} + \text{agua} + \text{reactivos} - \text{efluentes totales}$$

$$\text{Tela tinturada} = 276,00\text{ kg} + 25\,818,00\text{ kg} + 127,76\text{ kg} - 25\,548,61\text{ kg}$$

$$\text{Tela tinturada} = 673,15\text{ kg}$$

Balance de masa en la máquina Devrekha:



Figura 4: Balance de masa en la máquina Devrekha

Datos:

Volumen de llenado de la maquina= 2 000 L de agua

Capacidad máxima de carga de la maquina= 321,33 kg de tela cruda.

Balance de materia del proceso de descrude:

$$\text{Res} = \text{Reactivo ESTABLUPER}$$

$$\text{Res} = \text{volumen de llenado} * 1,00\text{ (g de reactivo)/(L de agua)}$$

$$\text{Res} = 2\,000\text{ L} * 1,00\text{ (g de reactivo)/(L de agua)} = 2\,000,00\text{ g de Res}$$

$$\text{Res} = 2,00\text{ kg}$$

$$\text{Na(OH)} = \text{volumen de llenado} * 1,00\text{ (g de sosa caustica)/(L de agua)}$$

$$\text{Na(OH)} = 2\,000\text{ L} * 1,00\text{ (g de sosa cáustica)/(L de agua)} = 2\,000,00\text{ g de sosa}$$

$$\text{Na(OH)} = 2,00\text{ kg de sosa}$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

$$H_2O_2 = \text{agua de llenado} * 1,20 \text{ (g } H_2O_2 \text{)/(L de agua)}$$

$$H_2O_2 = 2\,000 \text{ L} * 1,20 \text{ (g } H_2O_2 \text{)/(L de agua)} = 2\,400 \text{ g } H_2O_2$$

$$H_2O_2 = 2,40 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{1.2} = 2\,000 \text{ L} + \text{Na(OH)} + \text{Res} + H_2O_2 - \text{agua en tela} + \text{impureza del descruce}$$

$$\text{Efluentes}_{1.2} = 2\,000 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} + 2,00 \text{ kg} + 2,00 \text{ kg} + 2,40 \text{ kg} - (1,50 * 321,33) + (0,062 * 321,33)$$

$$\text{Efluentes}_{1.2} = 1\,530,37 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de enjuague:

$$\text{Efluentes}_{2.2} = 2\,000 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} * 2,00 = 3\,972,00 \text{ kg}$$

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación poliéster:

$$\text{Acc} = \text{agua de llenado} * 0,65 \text{ (g Acc)/(L de agua)}$$

$$\text{Acc} = 2\,000 \text{ L} * 0,65 \text{ (g Acc)/(L de agua)} = 1\,300 \text{ g Acc}$$

$$\text{Acc} = 1,30 \text{ kg}$$

$$\text{Rav} = \text{Reactivo DISPERSOL JET}$$

$$\text{Rav} = \text{volumen de llenado} * 1,00 \text{ (g de Rav)/(L de agua)}$$

$$\text{Rav} = 2\,000 \text{ L} * 1,00 \text{ (g de reactivo)/(L de agua)} = 2\,000,00 \text{ g de Rav}$$

$$\text{Rav} = 2,00 \text{ kg}$$

$$\text{Cazs} = \text{colorante AMARILLO DISPERSO 4G}$$

$$\text{Cazs} = \text{kg de tela} * 0,56 \text{ (g de Cazs)/(kg de tela)}$$

$$\text{Cazs} = 276 \text{ kg} * 0,56 \text{ (g de Cazs)/(kg de tela)} = 154,56 \text{ g}$$

$$\text{Cazs} = 0,15 \text{ kg}$$

$$\text{Cac} = \text{colorante ALLILION AMARILLO H3R}$$

$$\text{Cac} = \text{kg de tela} * 0,01 \text{ (g de Cac)/(kg de tela)}$$

$$\text{Cac} = 276 \text{ kg} * 0,01 \text{ (g de Cac)/(kg de tela)} = 2,76 \text{ g de Cac}$$

$$\text{Cac} = 0,003 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{3.2} = 2\,000 \text{ L} * 0,993 \text{ kg/L} + \text{Acc} + \text{Rav} + 0,06 * \text{Cazs} + 0,06 * \text{Cac}$$

$$\text{Efluentes}_{3.2} = 1\,989,31 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de enjuague:

$$\text{Efluentes}_{4.2} = 2\,000 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} = 1\,986,00 \text{ kg}$$

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación del algodón:

$$\text{Erp} = \text{Reactivo EUROLEVEL}$$

$$\text{Erp} = \text{volumen de llenado} * 1,00 \text{ (g de Erp)/(L de agua)}$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

$$\text{Erp}=2\ 000\ \text{L}\cdot 1,00\ (\text{g de reactivo})/(\text{L de agua})=2\ 000,00\ \text{g}$$

$$\text{Erp}=2,00\ \text{kg}$$

Cra=colorante AMARILLO REACTIVO ME4B

$$\text{Cra}=\text{kg de tela}\cdot 0,73\ (\text{g de Cac})/(\text{kg de tela})$$

$$\text{Cra}=276\ \text{kg}\cdot 0,73\ (\text{g de Cra})/(\text{kg de tela})=201,49\ \text{g}$$

$$\text{Cra}=0,20\ \text{kg}$$

Crr=colorante AMARILLO REACTIVO ED

$$\text{Crr}=\text{kg de tela}\cdot 0,36\ (\text{g de Cac})/(\text{kg de tela})$$

$$\text{Crr}=276\ \text{kg}\cdot 0,36\ (\text{g de Cra})/(\text{kg de tela})=99,36\ \text{g}$$

$$\text{Crr}=0,10\ \text{kg}$$

$$\text{NaCl}=\text{volumen de llenado}\cdot 50,00\ (\text{g de sal industrial})/(\text{L de agua})$$

$$\text{NaCl}=2\ 000\ \text{L}\cdot 50,00\ (\text{g de sal industrial})/(\text{L de agua})=100\ 000,00\ \text{g}$$

$$\text{NaCl}=100,00\ \text{kg}$$

$$\text{Na}_2\ \text{CO}_3=2\ 000\ \text{L}\cdot 5,00\ (\text{g})/(\text{L de agua})=10\ 000,00\ \text{g}$$

$$\text{Na}_2\ \text{CO}_3=10,00\ \text{kg}$$

$$\text{Na(OH)}=2\ 000\ \text{L}\cdot 1,00\ (\text{g de sosa cáustica})/(\text{L de agua})=2\ 000,00\ \text{g de sosa}$$

$$\text{Na(OH)}=2,00\ \text{kg de sosa}$$

$$\text{Efluentes}_5=2\ 000\ \text{L}\cdot 0,993\ \text{kg/L}+\text{NaCl}+\text{Erp}+0,61\cdot \text{Cra}+0,65\cdot \text{Crr}+\text{Na(OH)}+\text{Na}_2\ \text{CO}_3$$

$$\text{Efluentes}_5.2=2\ 100,22\ \text{kg}$$

Balance de reactivos y agua para neutralizado:

$$\text{CH}_3\ \text{COOH}=2\ 000\ \text{L}\cdot 0,30\ (\text{g})/(\text{L de agua})$$

$$\text{CH}_3\ \text{COOH}=0,60\ \text{kg}$$

$$\text{Efluentes}_6.2=2\ 000\ \text{L agua}\cdot 0,993\ \text{kg/L}+0,60\ \text{kg}=1\ 986,60\ \text{kg}$$

Balance de agua en proceso de lavado:

Erp=Reactivo EUROLEVEL

$$\text{Erp}=2\ 000\ \text{L}\cdot 0,20\ (\text{g de reactivo})/(\text{L de agua})=400,00\ \text{g}$$

$$\text{Erp}=0,40\ \text{kg}$$

$$\text{Efluentes}_7=2\ 000\ \text{L agua}\cdot 0,993\ \text{kg/L}+0,40\ \text{kg}=1\ 986,40\ \text{kg}$$

Balance de agua en proceso de 4 enjuagues:

$$\text{Efluentes}_7.2=2\ 000\ \text{L agua}\cdot 0,993\ \text{kg/L}\cdot 4,00=7\ 944,00\ \text{kg}$$

Balance de agua en proceso de fijación:

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

$$\text{CH}_3 \text{COOH} = 2\,000 \text{ L} * 0,30 \text{ (g)}/(\text{L de agua})$$

$$\text{CH}_3 \text{COOH} = 0,60 \text{ kg}$$

$$Q_{ym} = \text{Reactivo AV FIX PF 20}$$

$$\text{Tela tinturada} = \text{tela cruda} + \text{agua} + \text{reactivos} - \text{efluentes}$$

$$\text{Tela tinturada} = 321,30 \text{ kg} + 25\,818,00 \text{ kg} + 127,83 \text{ kg} - 25\,483,50 \text{ kg}$$

$$\text{Tela tinturada} = 783,63 \text{ kg}$$

Balance de masa en la máquina Tecninox:

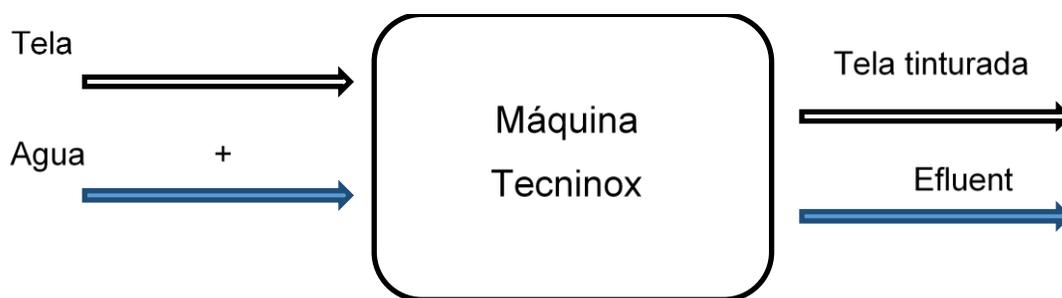


Figura 5: Balance de masa en la máquina Tecninox

Datos:

Volumen de llenado de la maquina= 2 000 L de agua

Capacidad máxima de carga de la maquina= 144,44 kg de tela cruda.

Balance de materia del proceso de descruce:

$$\text{Res} = \text{Reactivo ESTABLUPER}$$

$$\text{Res} = \text{volumen de llenado} * 1,00 \text{ (g de reactivo)}/(\text{L de agua})$$

$$\text{Res} = 2\,000 \text{ L} * 1,00 \text{ (g de reactivo)}/(\text{L de agua}) = 2\,000,00 \text{ g de Res}$$

$$\text{Res} = 2,00 \text{ kg}$$

$$\text{Na(OH)} = \text{volumen de llenado} * 1,00 \text{ (g de sosa caustica)}/(\text{L de agua})$$

$$\text{Na(OH)} = 2\,000 \text{ L} * 1,00 \text{ (g de sosa caústica)}/(\text{L de agua}) = 2\,000,00 \text{ g de sosa}$$

$$\text{Na(OH)} = 2,00 \text{ kg de sosa}$$

$$\text{H}_2 \text{O}_2 = \text{agua de llenado} * 1,20 \text{ (g H}_2 \text{O}_2)/(\text{L de agua})$$

$$\text{H}_2 \text{O}_2 = 2\,000 \text{ L} * 1,20 \text{ (g H}_2 \text{O}_2)/(\text{L de agua}) = 2\,400,00 \text{ g H}_2 \text{O}_2$$

$$\text{H}_2 \text{O}_2 = 2,40 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{1.3} = 2\,000 \text{ L} + \text{Na(OH)} + \text{Res} + \text{H}_2 \text{O}_2 - \text{agua en tela} + \text{impureza del descruce}$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

$$\text{Efluentes}_{1.3} = 2\,000 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} + 2,00 \text{ kg} + 2,00 \text{ kg} + 2,40 \text{ kg} - (1,5 * 144,44) + (0,062 * 144,44)$$
$$\text{Efluentes}_{1.3} = 1\,784,70 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de enjuague:

$$\text{Efluentes}_{2.3} = 2\,000 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} * 2,00 = 3\,972,00 \text{ kg}$$

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación poliéster:

$$\text{Acc} = \text{agua de llenado} * 0,65 \text{ (g Acc)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{Acc} = 2\,000 \text{ L} * 0,65 \text{ (g Acc)} / (\text{L de agua}) = 1\,300,00 \text{ g Acc}$$

$$\text{Acc} = 1,30 \text{ kg}$$

$$\text{Rav} = \text{Reactivo DISPERSOL JET}$$

$$\text{Rav} = \text{volumen de llenado} * 1,00 \text{ (g de Rav)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{Rav} = 2\,000 \text{ L} * 1,00 \text{ (g de reactivo)} / (\text{L de agua}) = 2\,000,00 \text{ g de Rav}$$

$$\text{Rav} = 2,00 \text{ kg}$$

$$\text{Cazs} = \text{colorante AMARILLO DISPERSO 4G}$$

$$\text{Cazs} = \text{kg de tela} * 0,56 \text{ (g de Cazs)} / (\text{kg de tela})$$

$$\text{Cazs} = 276 \text{ kg} * 0,56 \text{ (g de Cazs)} / (\text{kg de tela}) = 154,56 \text{ g}$$

$$\text{Cazs} = 0,15 \text{ kg}$$

$$\text{Cac} = \text{colorante ALLILION AMARILLO H3R}$$

$$\text{Cac} = \text{kg de tela} * 0,01 \text{ (g de Cac)} / (\text{kg de tela})$$

$$\text{Cac} = 276 \text{ kg} * 0,01 \text{ (g de Cac)} / (\text{kg de tela}) = 2,76 \text{ g de Cac}$$

$$\text{Cac} = 0,003 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{3.3} = 2\,000 \text{ L} * 0,993 \text{ kg/L} + \text{Acc} + \text{Rav} + 0,06 * \text{Cazs} + 0,06 * \text{Cac}$$

$$\text{Efluentes}_{3.3} = 1\,989,31 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de enjuague:

$$\text{Efluentes}_{4.3} = 2\,000 \text{ L agua} * 0,993 \text{ kg/L} = 1\,986,00 \text{ kg}$$

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación del algodón:

$$\text{Erp} = \text{Reactivo EUROLEVEL}$$

$$\text{Erp} = \text{volumen de llenado} * 1,00 \text{ (g de Erp)} / (\text{L de agua})$$

$$\text{Erp} = 2\,000 \text{ L} * 1,00 \text{ (g de reactivo)} / (\text{L de agua}) = 2\,000,00 \text{ g}$$

$$\text{Erp} = 2,00 \text{ kg}$$

$$\text{Cra} = \text{colorante AMARILLO REACTIVO ME4B}$$

$$\text{Cra} = \text{kg de tela} * 0,73 \text{ (g de Cac)} / (\text{kg de tela})$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

$$Cra=0,20 \text{ kg}$$

Crr=colorante AMARILLO REACTIVO ED

$$Crr=\text{kg de tela} \cdot 0,36 \text{ (g de Cac)}/(\text{kg de tela})$$

$$Crr=0,10 \text{ kg}$$

$$\text{NaCl}=\text{volumen de llenado} \cdot 50,00 \text{ (g de sal industrial)}/(\text{L de agua})$$

$$\text{NaCl}=2\,000 \text{ L} \cdot 50,00 \text{ (g de sal industrial)}/(\text{L de agua})=10\,000,00 \text{ g}$$

$$\text{NaCl}=100,00 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{5.3}=2\,000 \text{ L} \cdot 0,993 \text{ kg/L} + \text{NaCl} + \text{Erp} + 0,61 \cdot Cra + 0,65 \cdot Crr + \text{Na(OH)} + \text{Na}_2\text{CO}_3$$

$$\text{Efluentes}_{5.3}=2\,100,19 \text{ kg}$$

Balance de reactivos y agua para neutralizado:

$$\text{CH}_3\text{COOH}=2\,000 \text{ L} \cdot 0,30 \text{ (g)}/(\text{L de agua})$$

$$\text{CH}_3\text{COOH}=0,60 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{6.3}=2\,000 \text{ L agua} \cdot 0,993 \text{ kg/L} + 0,60 \text{ kg}=1\,986,60 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de lavado:

Erp=Reactivo EUROLEVEL

$$\text{Erp}=2\,000 \text{ L} \cdot 0,20 \text{ (g de reactivo)}/(\text{L de agua})=400,00 \text{ g}$$

$$\text{Erp}=0,40 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_{7.3}=2\,000 \text{ L agua} \cdot 0,993 \text{ kg/L} + 0,40 \text{ kg}=1\,986,40 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de 4 enjuagues:

$$\text{Efluentes}_7=2\,000 \text{ L agua} \cdot 0,993 \text{ kg/L} \cdot 4,00=7\,944,00 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de fijación:

$$\text{CH}_3\text{COOH}=2\,000 \text{ L} \cdot 0,30 \text{ (g)}/(\text{L de agua})$$

$$\text{CH}_3\text{COOH}=0,60 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_8=2\,000 \text{ L agua} \cdot 0,993 \text{ kg/L} + 2,60 \text{ kg}=1\,988,60 \text{ kg}$$

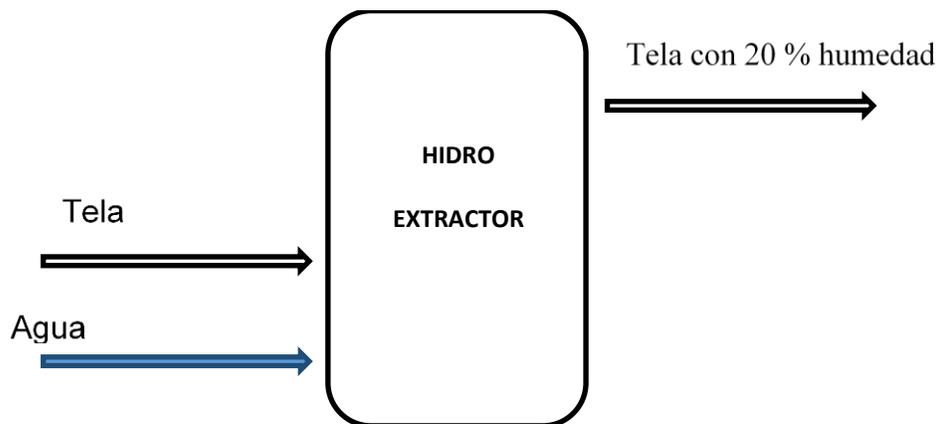
Tela tinturada=tela cruda+agua+reactivos-efluentes

$$\text{Tela tinturada}=144,44 \text{ kg} + 25\,818,00 \text{ kg} + 127,54 \text{ kg} - 25\,737,70 \text{ kg}$$

$$\text{Tela tinturada}=352,28 \text{ kg}$$

## Balance de masa del Hidroextractor

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID



**Figura 6:** Balance de masa en la máquina hidroextractora

Datos:

Porcentaje de humedad en la tela: 20 %

Presión de rodillos: 4,5 bar.

Balance de agua en la tela:

Tela tinturada total=2 875,18 kg

Agua en la tela tinturada =1,50\*total tela cruda

Agua en la tela tinturada =1,50\*1 178,86 kg=1 768,29 kg de agua

Agua en tela=20 % agua en la tela tinturada

Agua en tela=0,20\*1 768,29 kg

Tela exprimida=353,66 kg

Tela a Secadora=tela tinturada-agua en la tela tinturada+agua en tela

Tela a secadora=2 875,18 kg- 1 768,29 kg+353,66 kg

Tela a secadora=1 460,55 kg

Efluentes=720 kg+80 %\*1 768,29 kg

Efluentes=2 134,63 kg

## Determinación del balance de energía

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

El balance de energía se obtendrá de la demanda de vapor de los equipos principales de la planta, para el caso de los equipos de tinturación se analizarán las curvas de tinturación-tiempo las cuales están establecidas por la fábrica con base a la receta de tinturación y mediante la transferencia de calor dada por la igualdad entre el calor latente del vapor y la entalpia del flujo de agua que circula por el intercambiador de los equipos de tinturación con lo cual se determinará la cantidad de vapor necesario tanto para la tinturación del poliéster efectuada a 130 °C como para la tinturación del algodón a 60 °C (Incropera F., DeWitt D. y Lavine A., 2007, pp. 17-18).

Para el requerimiento de vapor necesario para la secadora se determinará en primera estancia el flujo de aire que ingresa a tempera de 23 °C y deberá ser calentado hasta 130 °C mediante transferencia de calor por convección forzada con el flujo de tela que ingresa, la temperatura de la tela tanto al ingreso como a la salida del equipo se medirá usando termocupla y el valor de su capacidad calórica se la tomará directamente de tablas tanto para el poliéster como para el algodón (Incropera F., DeWitt D. y Lavine A., 2007, pp. 17-18). Para la determinación del flujo de vapor que debe ingresar al secador se iguala el calor latente del vapor con la transferencia por convección forzada del flujo de aire previamente determinado y en los rangos de temperatura ya mencionados (Rao Y., 2001, pp. 292-297). Los equipos como la hidroextractora y las calandras no requieren vapor por lo cual solo se analizará la cantidad de energía eléctrica requerida para su funcionamiento.

## **Cálculos del balance de energía**

### **Requerimiento de vapor de las tinturadoras**

#### **Equipo Fong's**

Para la determinación del vapor necesario en cada proceso de tinturación se utilizó las curvas de tinturación las cuales están especificadas en las Figuras 4.9. -4.12. las cuales determinan los tiempos de tinturación y las condiciones de temperatura que el baño debe alcanzar.

Para el equipo Fong's se va a utilizar una masa de agua equivalente a 2 600 kg mientras que la temperatura a la que el agua ingresa al equipo es de 40°C, se debe trabajar con una temperatura media la cual consta entre la máxima temperatura de trabajo según el proceso y la temperatura ambiente con lo cual se podrá determinar mediante tablas la capacidad calórica del agua.

Para el proceso de descruce y pre-blanqueo se obtienen los datos de la Figura 4.9. y se especifican las condiciones de operación y los datos en la Tabla 2.2.

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

**Figura 7:** Especificaciones de temperatura para el proceso de descruce

Parámetro	Cantidad	Unidad
Temperatura máxima	100	° C
Temperatura media	70	° C
Variación de temperatura	60	° C
Capacidad calórica media	4 177	J/kg .°C
Calor latente del vapor a 160 °C	2,09E+06	J/kg

Los datos de capacidad calórica media y el calor latente de evaporación son obtenidos mediante tablas (Mills, 1995).

Aplicando la Ecuación 2.3. se tiene:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{m_{\text{agua}} * \bar{C}_{\text{Pagua}} * \Delta T}{L_p} \quad [2.3]$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{2\,600 \text{ kg} * 4\,177 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} * 60 \text{ °C}}{2,09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 311,78 \text{ kg}$$

Considerando que el tiempo de elevación de temperatura en la Figura 4.9. es de 29 minutos, se puede determinar el flujo de vapor necesario para alcanzar la temperatura de descruce.

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{311,78 \text{ kg}}{29 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 645,05 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para el proceso de tinturación del poliéster se utiliza la curva de tinturación detallada en la Figura 4.10. y las especificaciones de las temperaturas se encuentran detalladas en la Tabla 2.3.

**Figura 8:** Especificaciones de temperatura para tinturación del poliéster

Parámetro	Cantidad	Unidad
Temperatura máxima	130	° C
Temperatura media	85	° C
Variación de temperatura	90	° C
Capacidad calórica media	4 187	J/kg .°C

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

Calor latente del vapor a 160 °C	2,09E+06	J/kg
----------------------------------	----------	------

Utilizando la Ecuación 2.1. se tiene:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{2\,600 \text{ kg} * 4\,187 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 90^{\circ}\text{C}}{2,09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

Considerando que el tiempo de elevación de temperatura en la Figura 4.10. es de 41 minutos se puede determinar el flujo de vapor necesario para alcanzar la temperatura de tinturación del poliéster.

$$m_{\text{vapor}} = 468,78 \text{ kg}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{468,78 \text{ kg}}{41 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 686,02 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para el proceso de tinturación del algodón se utiliza la curva de tinturación detallada en la Figura 4.11. y las especificaciones de las temperaturas se encuentran detalladas en la Tabla 2.4.

**Figura 9:** Especificaciones de temperatura para tinturación del algodón

Parámetro	Cantidad	Unidad
Temperatura máxima	60	° C
Temperatura media	50	° C
variación de Temperatura	20	° C
Capacidad calórica media	4 174	J/kg .°C
Calor latente del vapor a 160 °C	2,09E+06	J/kg

Utilizando la Ecuación 2.1. se tiene:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{2\,600 \text{ kg} * 4\,174 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 20^{\circ}\text{C}}{2,09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 103,85 \text{ kg}$$

Considerando que el tiempo de elevación de temperatura en la Figura 4.11. es de 8 minutos se puede determinar el flujo de vapor necesario para alcanzar la temperatura de tinturación del algodón.

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{103,85 \text{ kg}}{8 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 778,88 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para el proceso de lavado de la tela se utiliza la curva de tinturación detallada en la Figura 4.12. y las especificaciones de las temperaturas se encuentran detalladas en la Tabla 2.4.

**Figura 10:** Especificaciones de temperatura para lavado de la tela

Parámetro	Cantidad	Unidad
Temperatura máxima	80	° C
Temperatura media	60	° C
variación de Temperatura	40	° C
Capacidad calórica media	4 174	J/kg. °C
Calor latente del vapor a 160 °C	2,09E+06	J/kg

Utilizando la Ecuación 2.1. se tiene:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{2\,600 \text{ kg} * 4\,174 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 40^{\circ}\text{C}}{2,09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 207,70 \text{ kg}$$

Considerando que el tiempo de elevación de temperatura en la Figura 4.12. es de 21 minutos se puede determinar el flujo de vapor necesario para alcanzar la temperatura de lavado de la tela.

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{207,70 \text{ kg}}{21 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 593,43 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Equipos Thies, Devrekha y Tecninox

Los equipos de tinturación mencionados trabajan con una masa de agua equivalente a 2 000 kg por lo cual solo se realizará el cálculo para un solo equipo, las condiciones de trabajo serán las mismas especificadas en las Tablas 2.1. - 2.4. debido a que se trabajan con las mismas condiciones establecidas en las curvas de tinturación.

Para el proceso de descruce y pre-blanqueo, se obtiene los datos de la Figura 4.9. y se especifica las condiciones de operación y los datos en la Tabla 2.1., aplicando la Ecuación 2.1. se obtiene:

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

$$m_{\text{vapor}} = \frac{2\,000\text{ kg} * 4\,177 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 60\text{ }^{\circ}\text{C}}{2,09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{239,83}{29\text{ min}} \text{ kg} * \frac{60\text{ min}}{1\text{ h}} = 496,20 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para el proceso de tinturación del poliéster se obtiene los datos de la Figura 4.10. y especificamos las condiciones de operación y los datos en la Tabla 2.2., aplicando la Ecuación 2.1. se obtiene:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{2\,000\text{ kg} * 4\,187 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 90\text{ }^{\circ}\text{C}}{2,09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 360,60\text{ kg}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{360,60\text{ kg}}{41\text{ min}} * \frac{60\text{ min}}{1\text{ h}} = 527,71 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para el proceso de tinturación del algodón se obtiene los datos de la Figura 4.11. y se especifica las condiciones de operación y los datos en la Tabla 2.3., aplicando la Ecuación 2.1. se obtiene:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{2\,000\text{ kg} * 4\,174 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 20\text{ }^{\circ}\text{C}}{2,09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 79,89\text{ kg}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{79,89\text{ kg}}{8\text{ min}} * \frac{60\text{ min}}{1\text{ h}} = 599,14 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para el proceso de tinturación de lavado se obtiene los datos de la Figura 4.12. y se especifica las condiciones de operación y los datos en la Tabla 2.5., aplicando la Ecuación 2.1. se obtiene:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{2\,000\text{ kg} * 4\,174 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 40\text{ }^{\circ}\text{C}}{2,09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{159,77 \text{ kg}}{21 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 456,49 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

### Requerimiento de vapor de la secadora

Para el cálculo del requerimiento de vapor de la secadora se va a trabajar con el flujo de masa de la secadora Heliot, los parámetros de trabajo a considerar están detallados en la Tabla 2.6.

**Figura 11:** Parámetros de ingreso de la tela a la secadora

Parámetro	Cantidad	Unidad
Flujo de tela a procesar	850	kg/h
porcentaje de agua	20	%
temperatura de la tela	15	°C
cantidad de agua	170	kg/h

Para determinar la cantidad de aire necesario para secar la tela se utilizó la Ecuación 2.2. en donde se relaciona la entalpía del aire caliente y la cantidad de agua y los datos de la capacidad calórica del aire, calor latente de ebullición del agua y capacidad calórica del agua fueron obtenidos de tablas (Mills F., 1995) y están especificados en la Tabla 2.7.

**Figura 12:** Especificaciones del agua y del aire

Parámetro	Cantidad	Unidad
Temperatura ambiente	20	°C
Temperatura a la salida	130	°C
Cp Promedio del aire	1 007	J/kg °C
Temperatura de ebullición	91	°C
Calor latente del agua	2,28E+06	J/kg
Cp medio del agua	4 200	J/ kg °C

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{\dot{m}_{\text{agua}} * \overline{Cp}_{\text{agua}} * \Delta T + Lp}{\overline{Cp}_{\text{aire}} * \Delta T} \quad [2.2]$$

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{170 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (91 - 15)^{\circ}\text{C} + 2,28 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}{1007 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (130 - 20)^{\circ}\text{C}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 510,46 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para la determinación del flujo de vapor se igualó las entalpías entre el aire que ingresa al equipo y el vapor necesario para calentar el aire, los datos se muestran en la Tabla 2.8. y el cálculo del flujo de vapor está dado por la Ecuación 2.3.

**Figura 13:** Especificación del aire y del vapor

Parámetro	Cantidad	Unidad
Temperatura ambiente	20	°C
Temperatura del vapor	160	°C
Capacidad calórica media del aire	1007	J/kg °C
Calor latente del vapor a 160 °C	2,09E+06	J/kg

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}} * \overline{Cp}_{\text{aire}} * \Delta T}{L_p} \quad [2.3]$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{510,46 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (160 - 20)^{\circ}\text{C}}{2,09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 34,43 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

## Diagrama de tuberías e instrumentación P&ID) y control

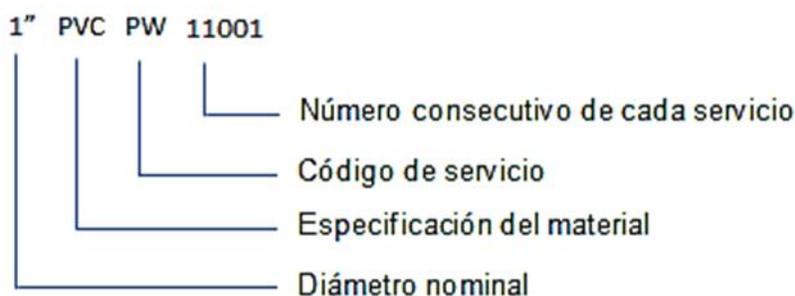
Los diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID) y control, son representaciones esquemáticas y gráficas que detallan la conformación de un sistema o equipos desde la figura representativa del

## Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

mismo equipo hasta la representación de válvulas, tuberías y los lazos de control existentes en una planta industrial, dichos planos ayudan a tener un entendimiento de los parámetros de control en cada proceso y proveen de información detallada de las estructuras que conforman el sistema de tuberías y bombas (PDVSA, 1995, p. 3).

Los diagramas P&ID serán realizados con base a la norma ANSI Y32.11 “Graphical Symbols for Process Flow Diagrams” (ASA Y32.11, 1961, pp. 6-14). Mientras que los criterios y la simbología de equipos de control serán considerados bajo la norma ANSI/ISA S5.1 “Instrumentation Symbols and Identification” (ANSI/ISA S5.1, 1986, pp. 29-39).

Para el sistema de tuberías es indispensable detallar el diámetro nominal, el material del cual está conformado la estructura, el servicio que la tubería presta en el proceso, así como su respectivo código según el área y el servicio que este aplique (Toghraei, 2014, p. 63), un ejemplo del Tag que tienen las tuberías en los diagramas P&ID es el indicado en la Figura 4.20.



**Figura 14:** Codificación de tuberías en un diagrama P&ID

En la Figura 4.21 hasta la Figura 4.26 se presentan los diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID) y control para la zona de operación, donde se detallan los equipos, bombas y tuberías necesarias para el funcionamiento de cada equipo del proceso de acabados textiles, mientras que a partir de la Figura 4.27 hasta la Figura 4.29 se muestran los diagramas P&ID para el sistema de generación de vapor.

### Diagrama de distribución de planta (layout)

El diagrama de distribución de la planta (LAYOUT) será realizado mediante el uso del software AutoCAD en los cuales se considerarán criterios tales como: distanciamiento de equipos, vías

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

despejadas para circulación del personal, distribución de espacios para equipos peligrosos y materiales químicos (De la Fuente D. y Fernández I., 2005, pp. 13-29).

## Resultados

A partir del análisis desarrollado para el diseño de una línea o planta de acabados textiles sobre tejido de punto tubular para la Industria Tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, se obtienen los siguientes resultados:

### Balance de masa

En la Tabla 3.1 se indican los requerimientos de vapor por parte de las máquinas cuyos cálculos se encuentran especificados en el apartado 2.1.

**Figura 15:** Flujo de vapor de los principales equipos

Equipo	Descrude (kg/h)	Tinción poliéster (kg/h)	Tinción algodón (kg/h)	Lavado (kg/h)	Secado (kg/h)
Fong's	895,48	748,02	745,70	745,70	-
Thies	688,83	575,40	573,61	573,61	-
Devreckha	688,83	575,40	573,61	573,61	-
Tecninox	688,83	575,40	573,61	573,61	-
Helliot	-	-	-	-	34,43

En la Tabla 3.2. se indican los requerimientos de agua e insumos químicos correspondiente al proceso de tinción para cada equipo Overflow y el proceso de hidroextracción, estos requerimientos de agua e insumos químicos corresponden a un lote de producción diaria.

**Figura 16:** Resultados del balance de masa para un lote de tela cruda

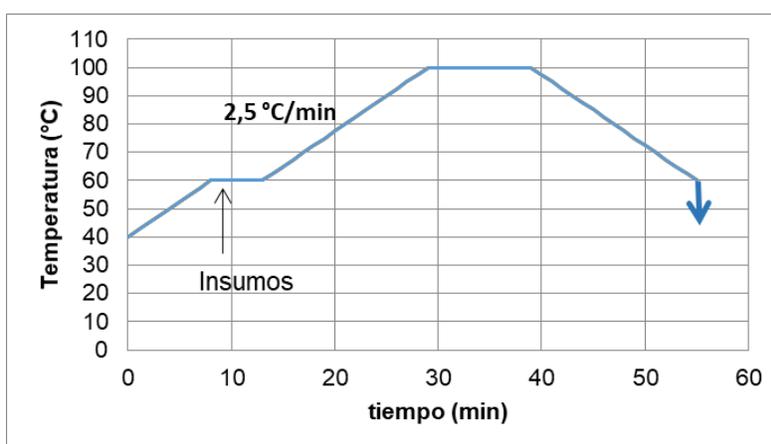
Insumo	EQUIPO					Total	Unidad
	Fong's	Thies	Devrekha	Tecninox	Hidroextractor		

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

Agua	33 563,40	25 818,00	25 818,00	25 818,00	720,00	111 737,40	kg
Tela cruda	437,12	276,00	321,30	144,44	-	1 178,86	kg
Hidróxido de sodio	5,20	4,00	4,00	4,00	-	17,20	kg
Ácido cítrico	1,69	1,30	1,30	1,30	-	5,59	kg
Ácido acético	1,56	1,20	1,20	1,20	-	5,16	kg
Peróxido de hidrógeno	3,12	2,40	2,40	2,40	-	10,32	kg
Dispersol jet	2,60	2,00	2,00	2,00	-	8,60	kg
Establuper	2,60	2,00	2,00	2,00	-	8,60	kg
Amarillo disperso 4G	0,24	0,15	0,18	0,08	-	0,66	kg
Allilion amarillo H3R	6,00	3,00	3,00	1,00	-	13,00	g
Amarillo reactivo ME4BL	0,32	0,20	0,23	0,11	-	0,86	kg
Amarillo reactivo ED	0,16	0,10	0,12	0,05	-	0,42	kg
Cloruro de sodio	130,00	100,00	100,00	100,00	-	430,00	kg
Carbonato de sodio	13,00	10,00	10,00	10,00	-	43,00	kg
Eurolevel	3,12	2,40	2,40	2,40	-	10,32	kg
AV FIX PF 20	2,60	2,00	2,00	2,00	-	8,60	kg
Efluentes	33 100,62	25 548,61	25 483,50	25 737,70	2 134,63	112 005,06	kg
Tela procesada	1 066,11	673,15	783,63	352,28	2 875,78	2 875,78	kg
Tela procesada 20% humedad	-	-	-	-	1 461,15	1 461,15	kg

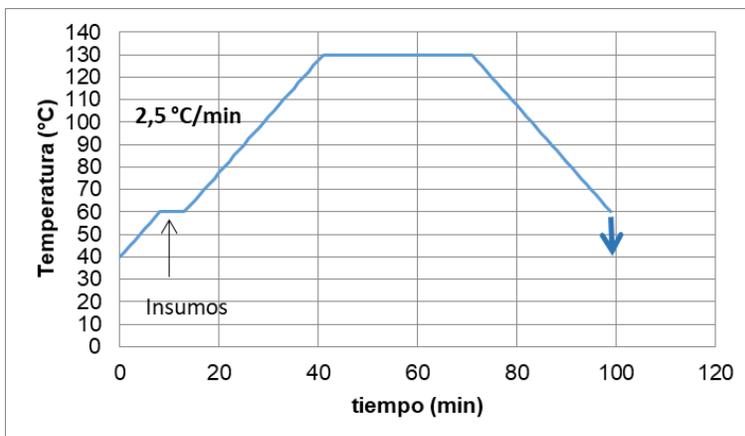
## Planificación de la producción

El principal factor a tener en cuenta durante la planificación del uso de los equipos es precisamente el proceso de tinturación ya que al ser un proceso del tipo batch los equipos para los procesos posteriores deberán iniciar su operación una vez que la tela salga de las máquinas Overflow. Para determinar el tiempo de proceso un equipo de tinción se analiza en las Figuras 3.1 a 3.4.

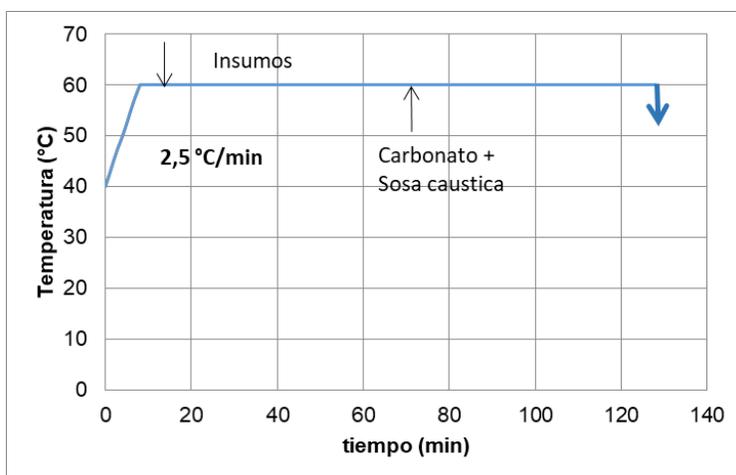


Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

**Figura 17:** Curva de descruce y pre-blanqueo del poli-algodón

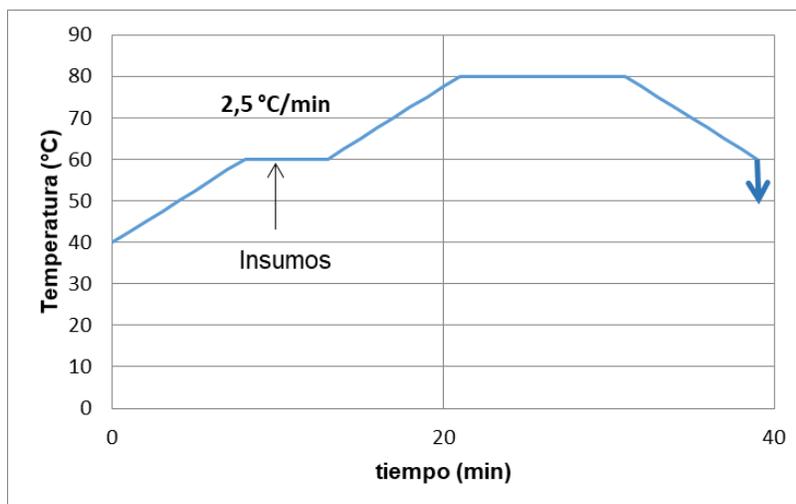


**Figura 18:** Curva de tinturación del poliéster



**Figura 19:** Curva de tinturación del algodón

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID



**Figura 20:** Curva del lavado del poli-algodón

Si se analizan las Figuras 3.1 a 3.4, se obtiene que el tiempo de todo el proceso de tinción, es un aproximado de 6 horas con 21 minutos, tiempo que demora una parada de tela cruda en entrar y salir del equipo Overflow, posterior a este tiempo empieza a trabajar tanto la hidroextractora, la secadora y las calandras con lo cual la planificación laboral queda determinada según la Tabla 3.3. Se consideró adicionalmente un tiempo estimado de 25 minutos en el cual el operario prepara la tela y la carga al equipo.

**Figura 21:** Planificación operacional de los principales equipos de la planta

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
0:00		T + H+ S	H+ S			
1:00		T + H+ S	H+ S			
2:00		T + H+ S	H+ S			
3:00		T + H+ S	H+ S			
4:00		T + H+ S	H+ S			
5:00		T + H+ S	H+ S			
6:00		H+ S	H+ S	H+ S	H+ S	H+ S
7:00	Limpieza	H+ S	H+ S	H+ S	H+ S	H+ S
8:00	Limpieza	T + H+ S+ C	C			

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

9:00	T	T + H+ S+ C	C			
10:00	T	T + H+ S+ C	C			
11:00	T	T + H+ S+ C	C			
12:00	T	T + H+ S+ C	C			
13:00	T	T + H+ S+ C	C			
14:00	T	T + H+ S+ C				
15:00	T	T + H+ S+ C				
16:00	T	T + H+ S+ C				
17:00	H + S	T + H+ S+ C				
18:00	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	
19:00	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	
20:00	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	
21:00	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	
22:00	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	
23:00	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	

T= máquinas de tinción.

H= máquina de hidroextracción

S= máquina de secado

C= máquinas de calandrado

La planta empieza la operación los días lunes a partir de las 7:00 am, en la cual los operadores se encargan de la limpieza tanto de los equipos como de su respectiva área de trabajo, esto les toma

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

alrededor de 2 horas tiempo suficiente mientras el caldero comienza su operación para poner en marcha las máquinas de tinturación.

El proceso de tinción arranca con una máquina, después de 1 hora de operación se carga la tela en una segunda máquina de tinción y empieza su operación, la planificación está diseñada para que operen únicamente 2 máquinas durante 7 a 8 horas aproximadamente, posteriormente mientras se realiza la descarga de la tela de las 2 primeras máquinas, se carga la tercera y cuarta máquina con tela cruda para su arranque, esto permite que no exista acumulación de tela para los procesos posteriores. La tercera y cuarta máquina de tinción empiezan su operación cuando la primera y segunda están descargando la tela tinturada, como un sistema de precaución para evitar el vaciado total del agua de la cisterna, para mantener un porcentaje de agua de reserva en caso de que exista algún inconveniente con el suministro hacia la cisterna.

En los equipos de tinción es importante tener un operador por cada máquina debido a que ellos deben preparar la tela antes de ingresarla a las máquinas, también son los encargados de colocar los insumos para los diferentes sub-procesos, posteriormente descargan la tela y la llevan hacia la hidroextractora donde otro operador la carga a la hidroextractora.

En la Tabla 3.4 se muestra el número de equipos que posee cada proceso, así como el número de operadores necesarios con su respectiva jornada laboral, es importante revisar que cada operador de los equipos Overflow trabajan bajo un horario de 12 horas y durante las horas de almuerzo deben estar siempre 2 operarios en planta por seguridad.

**Figura 22:** Distribución de los operadores en planta

Proceso	Máquinas	Número de operadores	Jornada laboral
Preparación y tinturación	4	4	12 horas
Hidroextracción	1	1	12 horas
Secado	1	1	12 horas
Calandrado	2	2	9 horas
Embalaje y almacenamiento	--	2	8 horas
Personal de mantenimiento industrial	--	2	8 horas
Ingeniero de planta y seguridad	--	1	8 horas

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

### Balance de energía

En la Tabla 3.5 se muestra las condiciones de temperatura y presión en las que operan los diferentes equipos, así como la temperatura de los efluentes que son descargados, estos cálculos fueron obtenidos como se indica en el apartado 2.2.1.

**Figura 23:** Temperatura y presión de los equipos y efluentes en cada proceso

Equipo	Temperatura de operación (°C)	Presión de operación (bar)	Temperatura del efluente (°C)
Tinturación	40-130	3,00	60
Hidroextracción	15	4,00-5,00	15
Secadora	20-130	0,97	--
Calandra	180-200	5,00	--

Se consideró un rango de temperaturas y de presiones las cuales corresponden a las mínimas y máximas condiciones de operación a la que se requiere el equipo.

En la Tabla 3.6 se muestran las especificaciones del sistema de bombeo, tuberías y válvulas que deben tener los sistemas de transporte de agua.

**Figura 24:** Dimensión y selección de tuberías, válvulas y bombas

Tramo	Especificaciones		
	Tuberías	Válvulas	Bomba
Cisterna - Fong's	Longitud: 12 m Tipo: PVC	Válvulas de bola: 2 Válvulas check: 2	TDH: 19,50 psi
Cisterna- Thies	Longitud: 16 m Tipo: PVC	Válvulas de bola: 2 Válvulas check: 2	TDH: 19,60 psi
Cisterna - Devrekha	Longitud: 12 m Tipo: PVC	Válvulas de bola: 2 Válvulas check: 2	TDH: 19,50 psi

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

Cisterna – Tecniinox	Longitud: 12 m Tipo: PVC	Válvulas de bola: 2 Válvulas check: 2	TDH: 19,50 psi
Cisterna - Hidroextractora	Longitud: 16 m Tipo: PVC	Válvulas de bola: 2 Válvulas check: 2 2	TDH: 19,60 psi

**Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) y control**

**Diagrama de tuberías (P&ID) del proceso de acabados textiles**

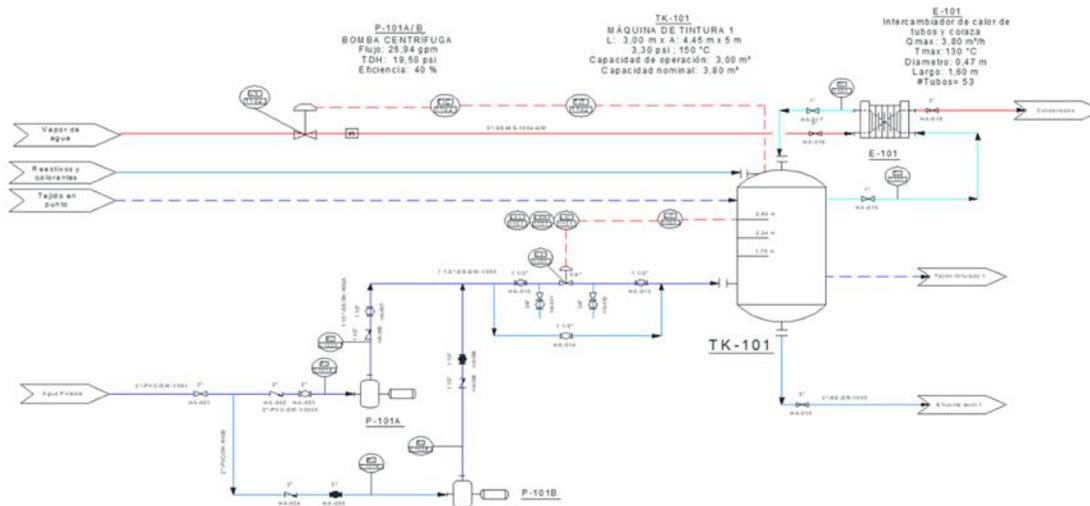


Figura 25: P&ID sección tinturación parte 1

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

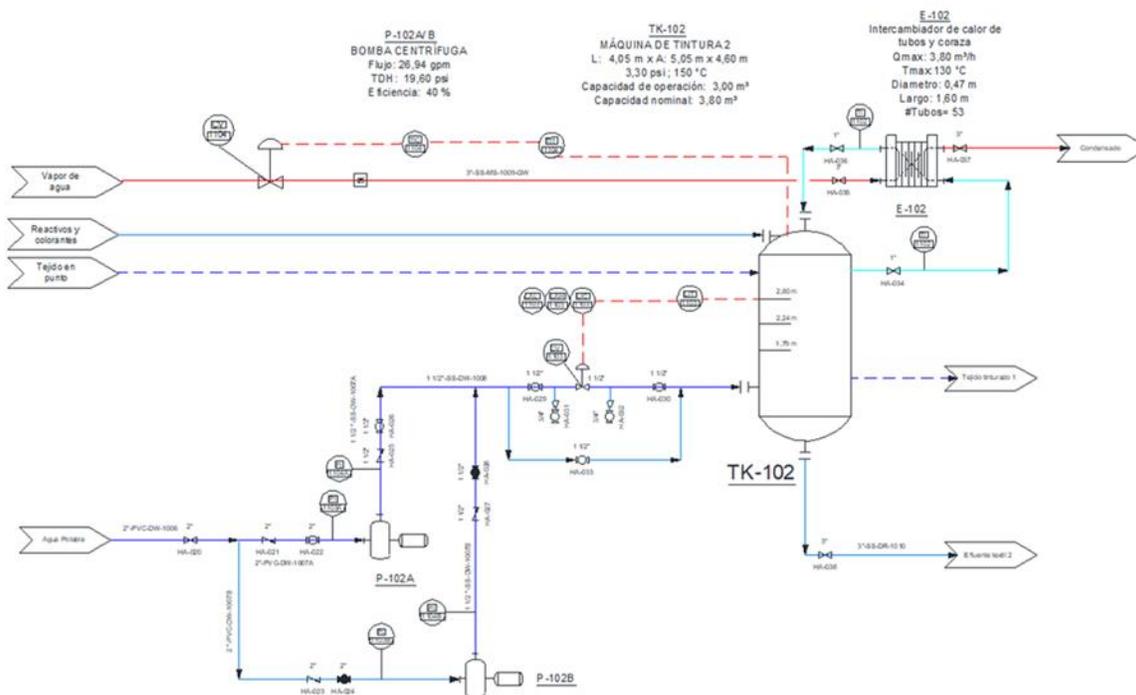


Figura 26: P&ID sección tinturación parte 2

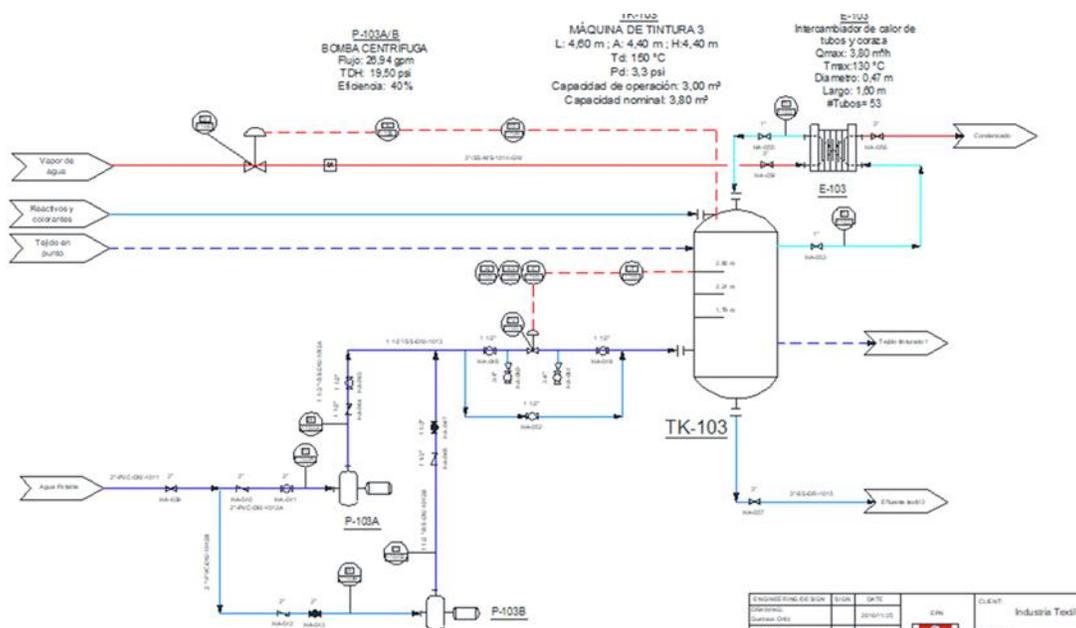


Figura 27: P&ID sección tinturación parte 3

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

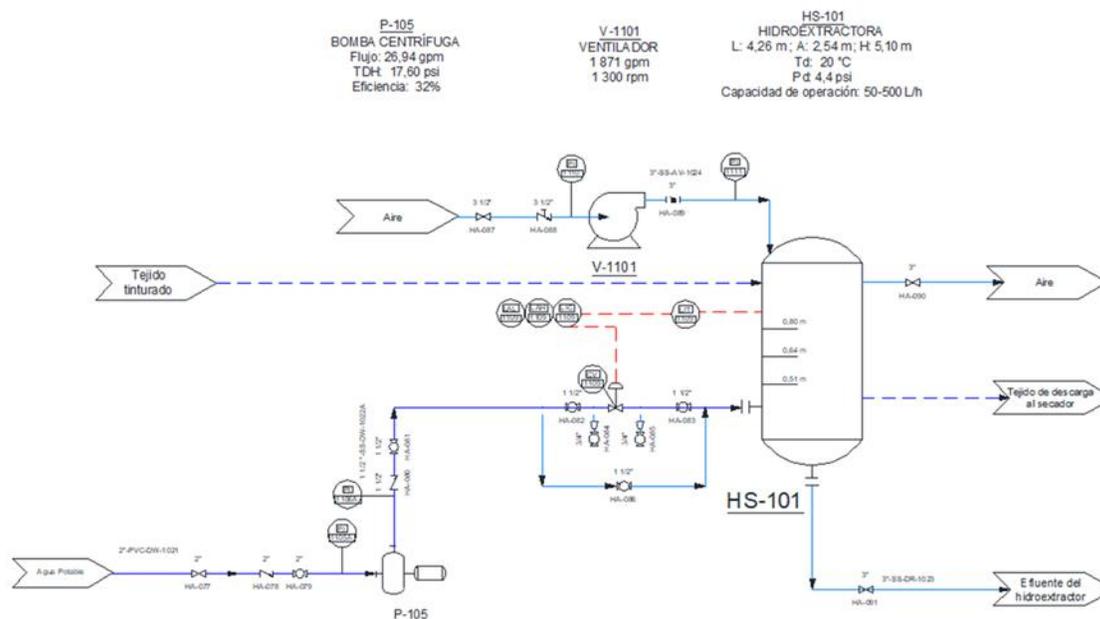


Figura 28: P&ID hidroextractor

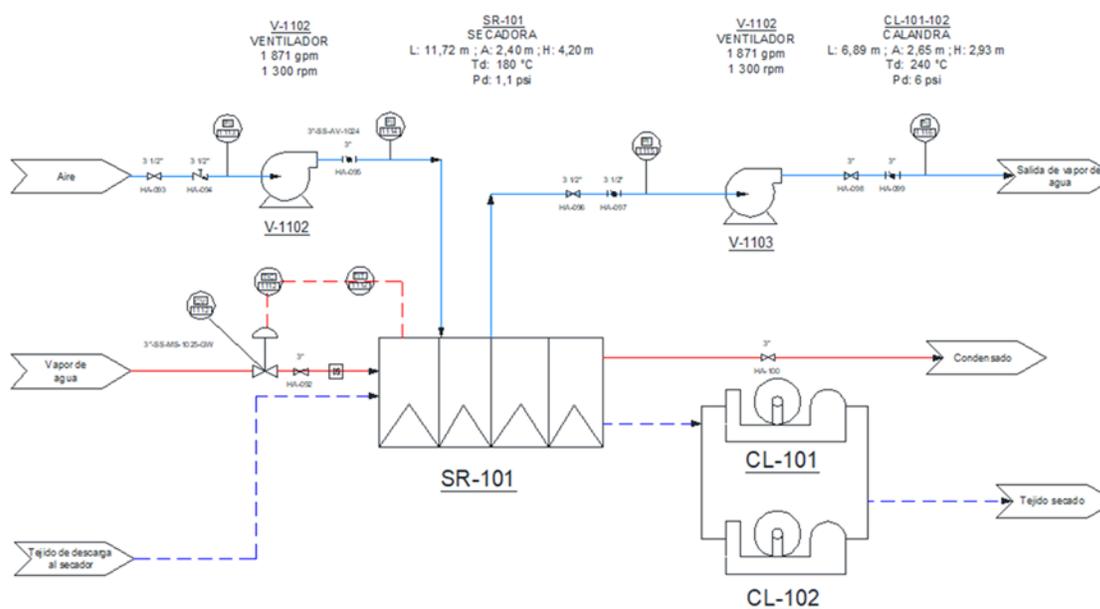


Figura 29: P&ID sección secadora y calandras

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

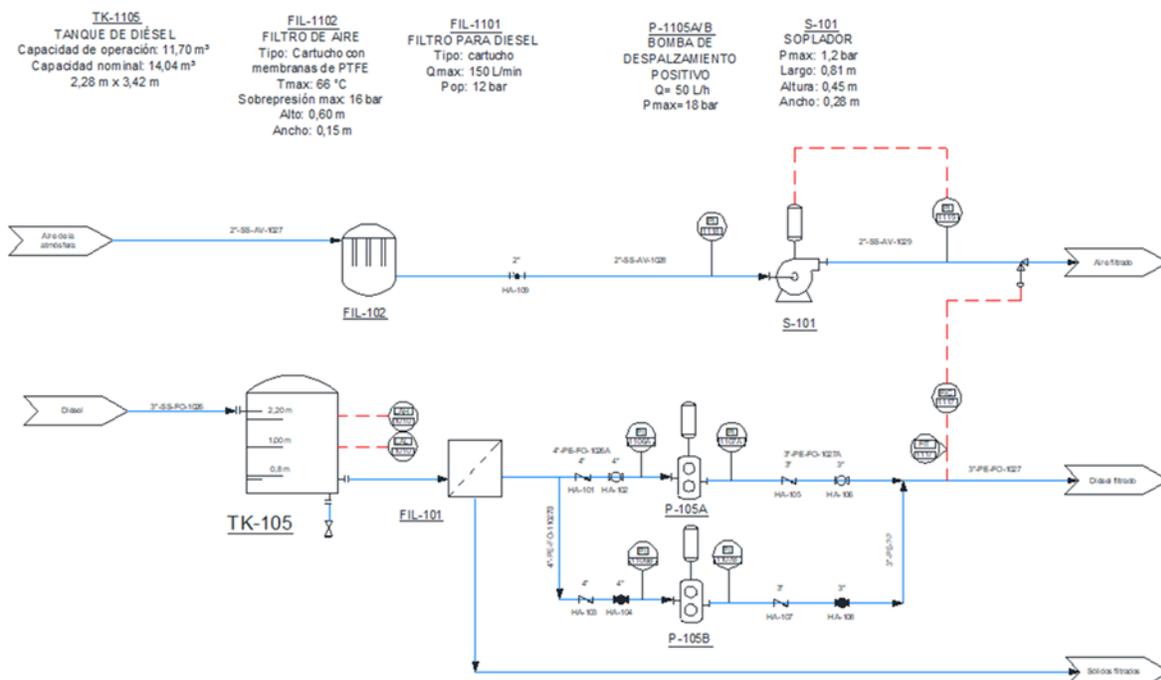


Figura 30: P&ID sección caldero parte 1

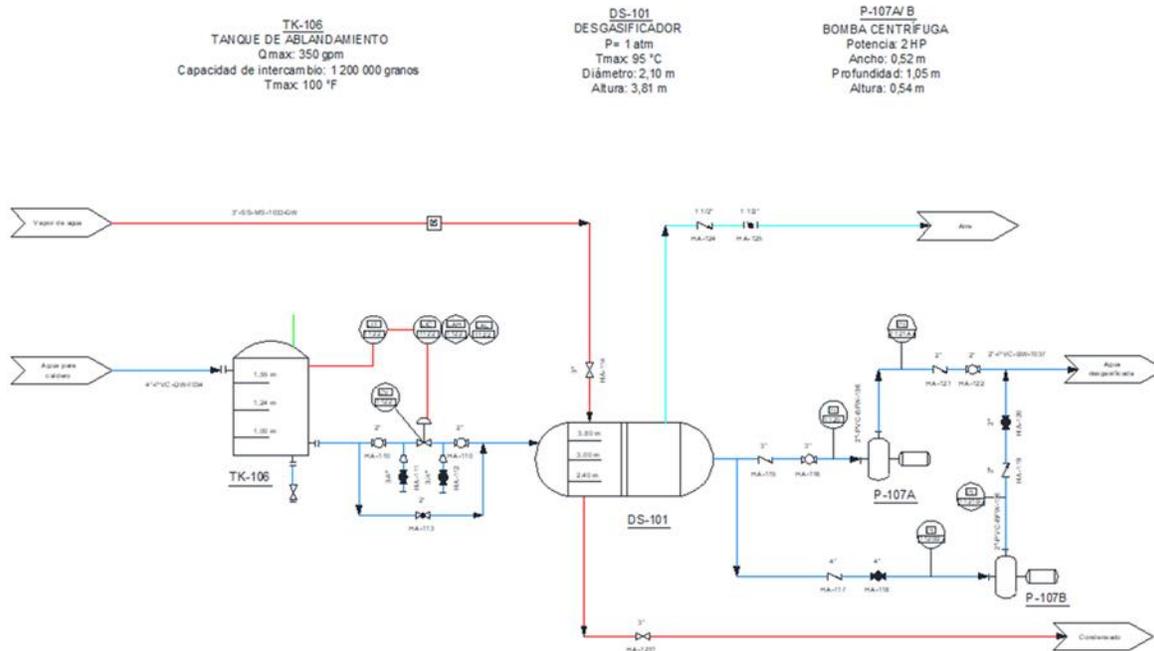


Figura 31: P&ID sección caldero parte 2

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

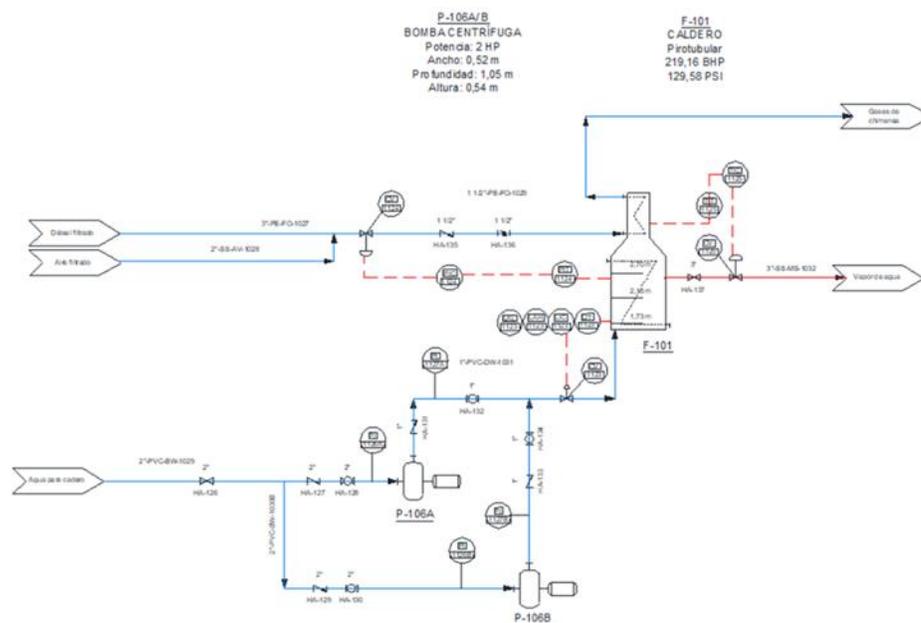
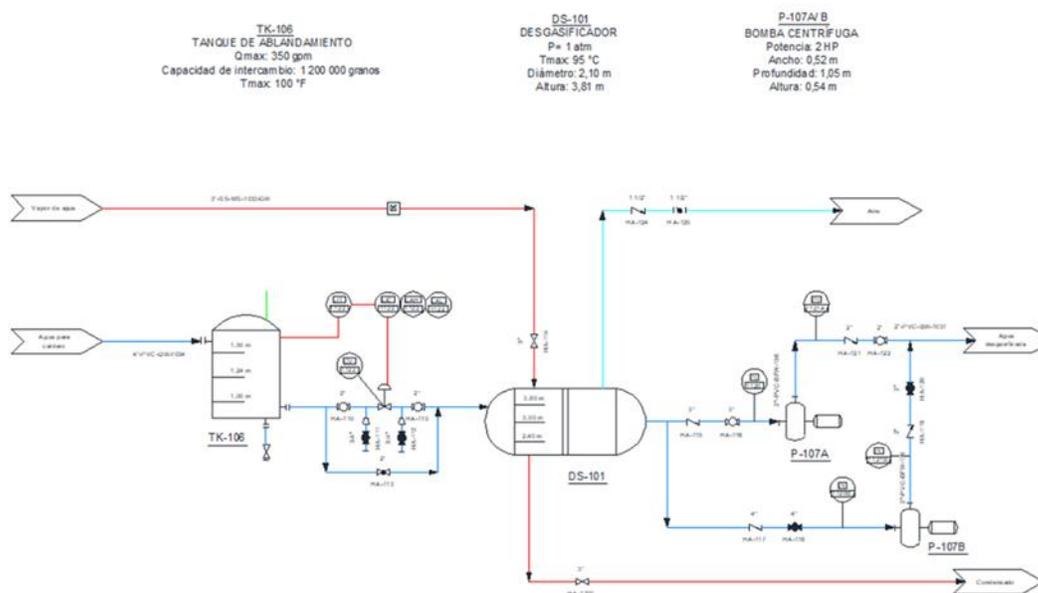


Figura 32: P&ID sección caldero parte 3



**Conclusiones**

A partir de los balances de masa y energía se logró determinar las variables de operación que intervienen en los principales procesos químicos del diseño de nuestra planta para la producción de

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

acabados textiles, buscando la optimización del sistema y logrando un mejor recaudo junto con la disminución del impacto ambiental.

Controlar la máxima y mínima temperatura es clave para un mejor desempeño del sistema de control propuesto evitando así posibles fenómenos adversos como la eliminación excesiva de gases en los calderos. Además, se debe considerar las señales de control de los controladores y sus respuestas ante perturbaciones en el punto de ajuste de la variable.

Los diagramas PID permitieron dar un panorama general del proceso químico en la Industria Tornasol, además que permite tener un orden y facilita en el futuro la operación como el mantenimiento de nuestra planta.

## Referencias

1. ACI 318-02. (2002). Requisitos para Hormigón Estructural. Recuperado de: <http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/publicom/indice.pdf>
2. ANSI/ISA S5.1. (1986). Instrumentation Symbols and Identification. Recuperado de: [https://www.isa.org/pdfs/microsites1142/s\\_55/](https://www.isa.org/pdfs/microsites1142/s_55/)
3. API RP 14E. (1991). Recommended practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems. Recuperado de: <https://www.scribd.com/doc/127884553/API-RP-14E-1991-pdf>
4. 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>
5. ASA Y32.11. (1961). Graphical Symbols for Process Flow Diagrams. Recuperado de: [amyd.quimica.unam.mx/mod/resource/view.php?id=118](http://amyd.quimica.unam.mx/mod/resource/view.php?id=118)
6. 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>
7. ASME B31.3. (2002). Process piping. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/122623807/ASME-B31-3-español-1-pdf>
8. ASME. (2010). Reglas para la construcción de calderas de potencia. Recuperado de: <http://files.asme.org/Catalog/Codes/PrintBook/34365.pdf>

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

9. ASTM A53, (2010). Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless. Recuperado de: <http://compass.astm.org.bvirtual.epn.edu.ec/download/A53A53M.17121.pdf>
10. Beverly, R. (2009). Pump Selection and Troubleshooting Field Guide. New Jersey, Estados Unidos de América: American Water Works Association.
11. Budynas, R. G. y Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. (8va ed.). México D.F., México: McGraw-Hill Interamericana.
12. Cevdet, D., Saliha, Ş. y Şeref, G. (2007). Simultaneous Uv-vis spectrophotometric determination of disperse dyes in textile wastewater by partial least squares and principal component regression: ELSEVIER Dyes and Pigments 73. pp. 368-376. doi: 10.1016/j.dyepig.2006.01.045.
13. Cie, C. (2015). Ink Jet Textile Printing. Cambridge, Inglaterra: ELSEVIER: The Textile Institute.
14. Clark, M. (2011). Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes. Cambridge, Inglaterra: Hoodhead Publishing series in Textiles.
15. De la Fuente, D. y Fernández, I. (2005). Distribución en Planta. Asturias, España: Editorial Universidad de Oviedo
16. Eisted, R., Larsen, A. y Christensen, T. (2009). Collection, transfer and transport of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contribution. Waste Management & Research 27. pp. 738- 745. doi: 10.1177/0734242X09347796
17. Epiloto, W., Lee, Y., Bottomley, L. y Pavlostathis, S. (2005). Characterization of the textile anthraquinone dye Reactive Blue 4. ELSEVIER Dyes and Pigments 67. pp. 35-46. doi:10.1016/j.dyepig.2004.10.006
18. Felder, R. y Rousseau, R. (2004). Principios elementales de los procesos químicos. (3ra Ed.). México D. F., México: Grupo Noriega.
19. FUNDES. (2001). Guía de Buenas prácticas para el sector textil. Recuperado de: [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/ Guias\\_Ambientales/Gu%C3%ADAs.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/ Guias_Ambientales/Gu%C3%ADAs.pdf)
20. Fúquene, C. (2007). Producción limpia, contaminación y gestión ambiental. Bogotá, Colombia: Editorial Pontifica Universidad Javeriana.
21. Gallardo, J. (2002). Evaluación económica y Financiera. México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

22. Giancoli, D., (2006). Física: Principios con aplicaciones vol. 1. (6ta ed.). Naucalpan de Juárez, México: PEARSON Prentice Hall.
23. Halmos, G. T. (2006). Roll Forming Handbook. Toronto, Canadá: CRC Taylor & Francis Group.
24. Hans, D. (2009). Control Valve Primer: A user's guide. (4ta ed.). New York, Estados Unidos de América: ISA.
25. Harmsen T. E. (2002). Diseño de Estructuras de Concreto Armado. (3ra ed.). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
26. Holman, J. P. (2010). Heat Transfer. (10ma ed.). New York, Estados Unidos de América: McGraw-Hill Higher Education.
27. 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.
28. Kohan, A. (2000). Manual de calderas: Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas. Madrid, España: McGraw-Hill/Interamericana de España S. A.
29. Kuppam, T. (2013). Heat Exchanger Design Handbook. (2da ed.).
30. Lockuán, F. (2012). La Industria Textil y su control de Calidad V-VI. México D.F., México: UL.
31. Llorens, J. (2005). Gerencia de Proyectos de Tecnología de Información. Caracas, Venezuela: CEC, SA.
32. Méndez, R., Vidal, G., Loberl, K. y Márquez, F. (2007). Producción limpia en la industria de Curtiembre. Coruña, España: Editorial Imprenta Universitaria.
33. Montes, M., Domínguez, M. y Roviera, A. (2014). Ingeniería Térmica. Madrid. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia de Madrid.
34. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, (2014). Norma para uso de suelo industrial, Resolucion N°31-SA-2014 y N°002-SA-2014. Recuperado de: [www.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Ordenanzas](http://www.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas)
35. Pesok, J. (2012). Introducción a la Tecnología Textil. Montevideo, Uruguay: URU.
36. Pineda, L. y Jara, M. (2010). Prospectiva y vigilancia tecnológica en la cadena fibra-textil-confecciones. Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario.
37. Rao, Y. (2001). Heat Transferer. Hyderguda, India: Universities Press.

Diseño de una planta sobre tejido de punto tubular para la industria tornasol, buscando la optimización de procesos químicos, mediante el uso de balance de masa, energía y diagramas P&ID

---

38. Rehbein, M. (2009). Digital textile printing and the influence on design. Múnich, Alemania: GRIN Verlag GmbH.
39. Russell, A. (2013). Principios básicos del diseño Textil. (3ra ed.). Barcelona, España: Gustavo Gili.
40. Sadik, K., Hongtan L. y Anchasa P. (2012). Heat Exchangers: Selection, rating and thermal design. (3er Ed.). Washington D.C., United States of America: CRC Press.
41. Soto, L. (2003). Refuerzo de Matemáticas. Madrid, España: NARCEA, S. A.
42. Vera, G. y Lidija, T. (1999). VIS absorption spectrophotometry of disperse dyes: ELSEVIER Dyes and Pigments 40. pp. 211-217. doi: 10.1016/S0143-7208(98)00055-2.
43. Xia, X., Zhang, H. y Zhang, J. (2012). Optimal sizing and operation of pumping systems to achieve energy efficiency and load shifting. ELSEVIER Electric Power Systems Research 86. pp 41-50. doi: 10.1016/j.epsr.2011.12.002

©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/>).