ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

DISEÑO DE UNA PLANTA DE ACABADOS TEXTILES SOBRE TEJIDO DE PUNTO TUBULAR DE POLI-ALGODÓN

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

EDWIN GUSTAVO ORTIZ CAMPO
tustavo@gmail.com

DIRECTOR: ING. MARCELO SALVADOR MSc.
Marcelo.salvadorq@epn.edu.ec

Quito, junio 2017

© Escuela Politécnica Nacional (2017)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Edwin Gustavo Ortiz Campo, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Edwin Gustavo Ortiz Campo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Edwin Gustavo Ortiz Campo, bajo mi supervisión.

Ing. Marcelo Salvador MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar una etapa tan importante en mi vida, por darme toda la sabiduría necesaria para salir adelante en el día a día, por brindarme fuerza en momentos más difíciles de mi vida los cuales han sido de suma importancia para poder alcanzar mis metas propuestas.

A mis padres, Elena Campo Morales y Edwin Ortiz Allan por brindarme todo su apoyo, colaboración, paciencia y respaldo en cada paso de mi vida, quienes con amor y comprensión supieron formar en mí un carácter fuerte y actitud positiva para poder alcanzar mis metas.

A mis padrinos, Yolanda Izurieta y George Barragán quienes me brindaron su apoyo incondicional y fueron parte de mi proceso de aprendizaje, personas a quienes considero como unos padres ya que supieron aconsejarme de la mejor manera para que nunca me rinda ante la vida a ellos también les debo este importante logro.

A mis hermanos, María Elena, Roberto y Sergio que me ayudaron y me brindaron su apoyo durante toda mi vida, quienes influyeron a mi forma de ser y a proponerme a superar cada reto de la vida.

A los hermanos Hernán y Joffre Izurieta quienes me brindaron la gran oportunidad de poder realizar mi proyecto de titulación y me dieron toda la apertura para poder desarrollarlo sin problema alguno.

A mi familia, tíos y primos que siempre con su alegría y carisma me alentaron para que realice mis actividades académicas de la mejor manera y supieron brindarme su amistad y apoyo.

DEDICATORIA

A Dios por ser guía y consejero en toda mi vida, por brindarme la oportunidad de vivir cada día y apreciar todo lo bueno y lo malo de la vida.

A mi madre, Elene del Pilar Campo Morales por ser una excelente madre, amiga y compañera durante toda mi vida, a ella le debo y le dedico este gran logro de mi vida.

A mi madrina, Yolanda Izurieta le agradezco enormemente su apoyo y su buena voluntad para ayudarme en cada momento de mi vida.

Al Ingeniero Marcelo Salvador Quiñones quien con su colaboración logramos sacar adelante este proyecto, le agradezco por su paciencia y por brindarme su apoyo durante el desarrollo del presente proyecto.

A la industria Textiles Tornasol S.A. por abrirme las puertas y permitirme desarrollar mi proyecto de titulación, agradezco por todo ese gran apoyo y confianza en mí.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

		PÁGINA
1	**JUSTIFICACIÓN**	**1**
2	**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**	**4**
2.1	Preparacion de la tela	6
2.2	Proceso de tinción	6
	2.2.1 Descrude y pre-blanqueado	7
	2.2.2 Tinción del tejido de poliéster	8
	2.2.3 Tinción del tejido de algodón	9
	2.2.4 Neutralizado y fijación	10
2.3	Hidroextracción	11
2.4	Secado	12
2.5	Calandrado y almacenamiento	12
3	**CRITERIOS DE DISEÑO**	**14**
3.1	Criterios de localización de la planta	14
	3.1.1 Macro y micro localización	14
	3.1.2 Recursos y servicios requeridos	15
	3.1.3 Normas que rigen la ubicación de la planta	18
3.2	Criterios para diseño de equipos	18
	3.2.1 Criterios para diseño de equipos principales	19
	3.2.2 Criterios para dimensionamiento y selección de equipos auxiliares	26
4	**DISEÑO DE LA PLANTA**	**31**
4.1	Diagrama de bloques BPD y diagrama de flujo PFD	31
	4.1.1 Diagrama de boques BPD del proceso de acabados textiles	31
	4.1.2 Diagrama de boques BPD del proceso de tinción	32
	4.1.3 Diagrama de flujo PFD	33
4.2	Balance de masa	39
4.3	Planificación de la producción	41
4.4	Balance de energía	45
4.5	Disposición en planta (*layout*)	46

4.6 Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) y control 55

4.7 Dimensionamiento y especificaciones de los equipos propuestos 65
4.7.1 Dimensionamiento de los equipos propuestos 65
4.7.2 Especificaciones de los equipos propuestos 73

5 EVALUACIÓN ECONÓMICA 87

5.1 Inversiones 87

5.2 Costos fijos 90

5.3 Costos operativos 92

5.4 Ingesos de ventas 93

5.5 Indicadores de rentabilidad 93

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 96

ANEXOS 107

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 2.1.	Formulación de la receta de tinturación para una relación de baño RL: 1/7	4
Tabla 3.1.	Característica del hilo de poli-algodón	15
Tabla 3.2.	Precios de los hilos según los proveedores	15
Tabla 3.3.	Insumos utilizados en el proceso de tinturación	16
Tabla 3.4.	Valores de energía eléctrica	17
Tabla 3.5.	Valores de agua potable	17
Tabla 3.6.	Máximos niveles de tensión del acero inoxidable ASME A 516	19
Tabla 3.7.	Coeficientes globales de transferencia de calor sucios (Us)	20
Tabla 3.8.	Rango de velocidades para el diseño de intercambiadores de calor	22
Tabla 3.9.	Resistencia al ensuciamiento para intercambiadores de calor	22
Tabla 3.10.	Condiciones de temperatura para termofijación de fibras sintéticas	24
Tabla 3.11.	Relación ancho de banda-velocidad según la norma DIN 22101	25
Tabla 3.12.	Espesor de la tubería y del aislamiento a diferentes temperaturas	26
Tabla 3.13.	Velocidades de fluidos dentro de tuberías	27
Tabla 4.1.	Flujo de vapor de los principales equipos	39
Tabla 4.2.	Resultados del balance de masa para un lote de tela cruda	40
Tabla 4.3.	Planificación operacional de los principales equipos de la planta	43
Tabla 4.4.	Distribución de los operadores en planta	45
Tabla 4.5.	Temperatura y presión de los equipos y efluentes en cada proceso	45
Tabla 4.6.	Dimensión y selección de tuberías, válvulas y bombas	46

Tabla 4.7.	Especificación de los equipos de tinturación *Overflows*	65
Tabla 4.8.	Dimensiones de los tanques de almacenamiento y la cisterna	66
Tabla 4.9.	Líneas de tuberías y líneas de vapor	67
Tabla 4.10.	Conductividad térmica de materiales aislantes	68
Tabla 4.11.	Descripción de los principales equipos de la planta	69
Tabla 4.12.	Especificación de los intercambiadores de calor con cambio de fase	70
Tabla 4.13.	Descripción de las bombas de los principales equipos	71
Tabla 4.14.	Características del sistema de generación de vapor	72
Tabla 4.15.	Especificación de los rodillos para la hidroextractora y calandra	73
Tabla 4.16.	Hoja de especificación del equipo de tinturación 1	75
Tabla 4.17.	Hoja de especificación del equipo de tinturación 2	76
Tabla 4.18.	Hoja de especificación del equipo de tinturación 3	77
Tabla 4.19.	Hoja de especificación del equipo de tinturación 4	78
Tabla 4.20.	Hoja de especificación del tanque de almacenamiento	79
Tabla 4.21.	Hoja de especificación del intercambiador de calor	80
Tabla 4.22.	Hoja de especificación del hidroextractor	81
Tabla 4.23.	Hoja de especificación de la secadora	82
Tabla 4.24.	Hoja de especificación de las calandras	83
Tabla 4.25.	Hoja de especificación de la embaladora	84
Tabla 4.26.	Hoja de especificación del caldero	85
Tabla 4.27.	Hoja de especificación de la bomba centrifuga	86
Tabla 5.1.	Costos de inversión por construcción	88
Tabla 5.2.	Costo del sistema de tuberías y accesorios	88

Tabla 5.3.	Costo del sistema de las válvulas	88
Tabla 5.4.	Costo unitario y total de los equipos	88
Tabla 5.5.	Tabla de amortización de la inversión total	89
Tabla 5.6.	Costos de pagos al personal de trabajo en planta	91
Tabla 5.7.	Costos de materia prima e insumos	92
Tabla 5.8.	Precio final de los costos operativos por agua, energía y combustible	93
Tabla 5.9.	Valor en libros de la depreciación	94
Tabla 5.10.	Flujo de caja para el diseño del área de acabados textiles	95
Tabla 5.12.	Indicadores de la rentabilidad (VAN y TIR)	96
Tabla AI.1.	Concentración y absorbancia medida a 302 nm para el colorante amarillo reactivo ME4GL	108
Tabla AI.2.	Concentración y absorbancia medida a 419 nm para el colorante amarillo reactivo ED	108
Tabla AI.3.	Concentración de los colorantes en los baños residuales de tinturación del algodón	110
Tabla AI.4.	Porcentaje de colorante residual en el baño de tinturación	110
Tabla AI.5.	Peso de los insumos en el baño residual del poliéster	112
Tabla AI.6.	Peso de la tela cruda y descrudada	112
Tabla AI.7.	Peso de la tela cruda y mojada	114
Tabla AII.1.	Especificaciones de temperatura para el proceso de descrude	139
Tabla AII.2.	Especificaciones de temperatura para tinturación del poliéster	140
Tabla AII.3.	Especificaciones de temperatura para tinturación del algodón	141
Tabla AII.4.	Especificaciones de temperatura para lavado de la tela	142
Tabla AII.5.	Parámetros de ingreso de la tela a la secadora	145

Tabla AII.6.	Especificaciones del agua y del aire	145
Tabla AII.7.	Especificación del aire y del vapor	146
Tabla AIII.1.	Dimensiones del tanque de tinturación	147
Tabla AIII.2.	Temperaturas del fluido caliente y frío	150
Tabla AIII.1.	Propiedades del condensado a temperatura de pared	152
Tabla AIII.4.	Propiedades del agua a temperatura media	156
Tabla AIII.5.	Espesor de la tela dumba	161
Tabla AIII.6.	Promedio y desviación estándar del espesor	162
Tabla AIII.7.	Temperaturas del fluido caliente y friíío en la secadora	165
Tabla AIII.8.	Propiedades del condensado a temperatura de pared en la secadora	167
Tabla AIII.9.	Propiedades del aire a temperatura media	169
Tabla AIII.10.	Parámetros para el diseño de rodillos de la calandra	174
Tabla AIV.1.	Consideraciones para el dimensionamiento de las bombas	177
Tabla AIV.2.	Accesorios para los tanques TK-101, TK-103 y TK-104	182
Tabla AIV.3.	Consideraciones para el dimensionamiento de las bombas 2	187
Tabla AIV.4.	Propiedades del vapor saturado y agua de ingreso	196
Tabla AIV.5.	Composición elemental del diésel premium	198
Tabla AIV.6.	Composición de los gases de salida	202
Tabla AIV.7.	Constantes de compuestos en estado gaseoso correspondientes a la ecuación de la capacidad calórica	203
Tabla AV.1.	Costo unitario del equipo *Overflow*	214
Tabla AV.2.	Costo unitario de la hidroextractora	214
Tabla AV.3.	Costo unitario de la secadora	215
Tabla AV.4.	Costo unitario de la calandra	215

Tabla AV.5. Costo del consumo de energía de los equipos principales 217

Tabla AV.6. Costo del consumo anual de agua y combustible 217

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Aporte a la producción económica entre los años 2007 y 2013	1
Figura 2.1.	Esquema de una máquina de tinción *Overflow*	7
Figura 2.2.	Equipo de calandra mediante sistemas de rodillos (vista lateral)	13
Figura 4.1.	Diagrama de bloques del proceso de acabados textiles	31
Figura 4.2.	Diagrama de bloques del proceso de tinturación	32
Figura 4.3.	Diagrama de flujo parte 1	33
Figura 4.4.	Diagrama de flujo parte 2	34
Figura 4.5.	Diagrama de flujo parte 3	35
Figura 4.6.	Diagrama de flujo parte 4	36
Figura 4.7.	Diagrama de flujo parte 5	37
Figura 4.8.	Diagrama de flujo parte 6	38
Figura 4.9	Curva de descrude y pre-blanqueo del poli-algodón	41
Figura 4.10	Curva de tinturación del poliéster	41
Figura 4.11	Curva de tinturación del algodón	42
Figura 4.12	Curva del lavado del poli-algodón	42
Figura 4.13.	Layout de la distribución de la planta	48
Figura 4.14.	Layout zona de operación y caldero	49
Figura 4.15.	Layout Zona de operación, equipos y suministros	50
Figura 4.16.	Vista frontal de zona de operación	51
Figura 4.17.	Vista lateral derecha de la zona de operación	52
Figura 4.18.	Vista lateral izquierda de la zona de operación	53

Figura 4.19.	Vista posterior de la zona de operación	54
Figura 4.20.	Codificación de tuberías en un diagrama P&ID	55
Figura 4.21.	P&ID sección tinturación parte 1	56
Figura 4.22.	P&ID sección tinturación parte 2	57
Figura 4.23.	P&ID sección tinturación parte 3	58
Figura 4.24.	P&ID sección tinturación parte 4	59
Figura 4.25.	P&ID hidroextractor	60
Figura 4.26.	P&ID sección secadora y calandras	61
Figura 4.27.	P&ID sección caldero parte 1	62
Figura 4.28.	P&ID sección caldero parte 2	63
Figura 4.29.	P&ID sección caldero parte 3	64
Figura AI.1.	Curva de calibración del colorante amarillo reactivo ME4GL	109
Figura AI.2.	Curva de calibración del colorante amarillo ED	109
Figura AI.3	Balance de masa en la máquina Fong´s	113
Figura AI.4	Balance de masa en la máquina Thies	120
Figura AI.5	Balance de masa en la máquina Devrekha	125
Figura AI.6	Balance de masa en la máquina Tecninox	131
Figura AI.7	Balance de masa en la máquina hidroextractora	137
Figura AIV.1.	Diagrama de Moody	180
Figura AIV.2.	Curva de operación de una bomba centrífuga	184
Figura AIV.3.	Gráfica de la determinación de la temperatura de combustión	207

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO AI
Balance de masa 108

ANEXO AII
Balance de energía 139

ANEXO AIII
Dimensionamiento de equipos principales 147

ANEXO AIV
Dimensionamiento y selección de equipos secundarios 176

ANEXO AV
Evaluación económica 214

1 JUSTIFICACIÓN

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 unos 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 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).

La empresa INDUSTRIALES TEXTILES TORNASOL S.A. actualmente se encuentra en funcionamiento en la ciudad de Quito, sector de Calderón, debido a que en la cercanía de la industria se encuentran ubicadas urbanizaciones y tomando en cuenta el rápido crecimiento de la población, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito mediante la Ordenanza N°127-2016 regula la ubicación de las fábricas según el uso de suelos, razón por la cual la industria debe trasladarse.

Dentro de los procesos asociados a la industria textil se encuentra el proceso de tinción de las telas, este proceso es aquel que determina los tiempos de operación de los otros equipos debido a que es aquí donde se consumen gran parte de los insumos y materia prima la cual genera el 80 % de la contaminación por efluentes líquidos (Russell, 2013, pp. 169-176).

Debido a los problemas ambientales y los altos niveles de consumo de agua en el sector de la tinturación textil, se han generado alternativas tecnológicas que son

aplicables a los procesos de reingeniería como los diseños de plantas y procesos que permiten sustituir equipos ineficientes de tinción por otros equipos como los *Jet-Flow* y *Pad-Flow,* los cuales utilizan relaciones de baño inferiores a 1,0:1,5 permitiendo un aprovechamiento tanto de energía como de insumos (Clark, 2011, pp. 245-256).

Sin embargo considerando los altos precios de los equipos en el Ecuador, se prefiere utilizar los equipos *Overflow* que son autoclaves que trabajan en procesos discontinuos y mejoran sus relaciones de baño hasta 1:4 mediante el mejoramiento de la receta de tinción y utilización de colorantes con mayor afinidad a la tela (Pesok, 2012, pp. 144-146).

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).

2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En el presente proyecto se realizó el diseño de una planta de acabados textiles para 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 tomó en consideración los procesos actuales de tratamiento de la tela cruda que realiza la empresa, así como también la receta de tinturación establecida en la Tabla 2.1, la cual permite identificar la cantidad de insumos químicos que ingresan en cada máquina de tinturación, esto permitió 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).

La receta de tinturación provista por la empresa está dada para una relación de baño de 1/7 (kg de tela / L de agua) dato importante para la determinación de la cantidad de agua necesaria para todo el proceso de tinturación.

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_2CO_3	5,00	g/L

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

Proceso	Reactivo	Cantidad	Unidad
	NaOH	1,00	g/L
Neutralizado	Ácido acético glacial	0,30	g/L
Lavado	Eurolevel	0,20	g/L
Fijación	Ácido acético glacial	0,30	g/L
	AV Fix Pf 20	1,00	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 está determinado 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).

Posteriormente, los diversos sub-procesos de la etapa de tinción se llevan a cabo a diversas condiciones de temperatura, siendo la temperatura de tinturación del poliéster la más elevada, con lo cual es necesario el uso de un intercambiador de calor, por lo cual las fuentes de energías más comunes en las industrias textiles son los calderos.

Dentro de los principales procesos de acabados textiles se tiene:

- Preparación de la tela
- Tinción
- Hidroextracción
- Secado

- Calandrado
- Almacenamiento

2.1 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).

2.2 PROCESO DE TINCIÓN

El proceso de tinción del tejido tubular poli-algodón se lo realiza en máquinas del tipo autoclaves *Overflow* tal y como se indica en la Figura 2.1*,* 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.

La tinción por agotamiento es un procedimiento aplicable para fibras, hilos y tejidos, el colorante junto con los auxiliares de tinción se disuelven en agua formando el baño de tinción, posteriormente este se impregna en la superficie de la tela y con un determinado tiempo en el equipo la tela adquiere una uniformidad en su tonalidad, este proceso depende del tiempo de residencia, pH del baño, la temperatura de operación y el movimiento de la tela al interior del equipo (Lockuán, 2012, pp. 31-32).

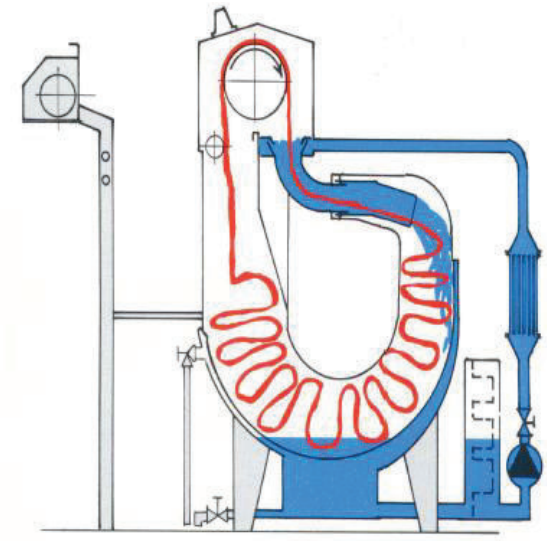


Figura 2.1. Esquema de una máquina de tinción *Overflow*
(Lockuán, 2012, p. 30)

La tinción de la tela es un proceso que se lleva a cabo en varias etapas con el fin de darle una tonalidad de color, para ello se tienen las siguientes sub etapas de la tinción para tejidos del tipo poli-algodón.

2.2.1 DESCRUDE Y PRE-BLANQUEADO

El proceso de descrude 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 descrude 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

descrude 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.

Los procesos de blanqueo permiten dar una mejor tonalidad al color de la tela, la intensidad con la que se debe realizar los blanqueos dependen del color con el que posteriormente se teñirá, es decir, para tonalidades claras es esencial realizar un blanqueo con mayores tiempos de residencia y con agentes blanqueadores necesarios para optimizar procesos, mientras que para los colores oscuros no se requería el proceso de blanqueo, por el contrario se utilizan los procesos denominados semi-blanqueos que se pueden asociar junto con el descrude o lavado antes de ingresar los colorantes (Walter, Santillo y Johnston, 2005, p.13).

Las fibras celulósicas se blanquean por métodos oxidativos, y debido a que este proceso se realiza junto con el descrude, el reactivo más utilizado es el peróxido de hidrogeno (H_2O_2) aunque no es uno de los agentes oxidantes más efectivos ya que es importante alcanzar condiciones de pH básicos y utilizar agentes estabilizantes para que se pueda dar la formación de oxígeno activo el cual actúa sobre la fibra celulósica (Tzanko, Silgia y Gübitz, 2001, pp. 87-90).

2.2.2 TINCIÓN DEL TEJIDO DE POLIÉSTER

La tinción del poliéster es el proceso de mayor exigencia debido a que las fibras son altamente hidrofóbicas y carecen de grupos reactivos, la configuración espacial de las cadenas y al anillo aromático que éste posee en su estructura, estas moléculas se encuentran empaquetadas de tal forma que no dan espacio para que el colorante logre acomodarse, para ello es importante que los equipos autoclaves trabajen a altas temperaturas lo cual permite que la fibra sufra un ablandamiento y se hinchen dando espacio para que los colorantes dispersos puedan ingresar y acomodarse entre las cadenas del polímero. Para que este proceso se pueda dar es necesario el uso de agentes dispersantes que permiten que el colorante se difunda por todo el baño de forma homogénea (Walter, Santillo y Johnston, 2005, pp. 20-21).

Los colorantes dispersos del tipo azoicos poseen en su estructura molecular uniones azo, estos colorantes son relativamente inestables, lo cual dificulta que la tela posea la misma tonalidad de color durante mucho tiempo, sin embargo es de gran ventaja al momento de aplicar procesos de tratamiento de efluentes (Christie, 2015, pp. 184-187).

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.

Debido a los cambios de pH que sufren los baños en cada etapa es esencial que el equipo esté diseñado con materiales anticorrosivos para evitar daños químicos a la estructura interna (Lacasse y Baumann, 2004, pp. 192-194).

2.2.3 TINCIÓN DEL TEJIDO DE ALGODÓN

El algodón es una fibra natural compuesta en su mayor parte por celulosa, por lo cual es necesario el uso de colorantes reactivos, los cuales poseen un grupo auxócromo en su estructura capaz de formar enlaces covalentes con los grupos oxidrilos libres que posee la cadena de celulosa como (Roy, 2006, pp. 488-504).

Entre los colorantes más utilizados están los colorantes reactivos calientes y frios, estos poseen un grupo auxócromo (reactivo) y una parte cromófora, el grupo reactivo se adhiere a la fibra celulósica mientras que la parte cromófora es aquella que determina el matiz (color). La ventaja de trabajar con colorantes reactivos es que en su mayoría no requieren de agentes dispersantes ya que éstos si poseen una buena solubilidad.

Otro de los beneficios de los colorantes reactivos es que estos no requieren de altas temperaturas para que se dé la reacción en la fibra celulósica, dependiendo de su grupo auxócromo, los colorantes pueden ser de alta, media o baja reactividad, mientras que éstos también pueden formar compuestos con la celulosa de tipo ésteres o éteres de celulosa (Lockuán, 2012, pp. 33-34).

La tinción del algodón es un proceso que se realiza en medio alcalino con valores de pH entre 10,2 y 12,2, por ello es indispensable el uso de hidróxido de sodio y carbonato de sodio, por otro lado también se usan agentes igualadores y antiespumantes los cuales ayudan a que el colorante tenga una mayor dispersión en el baño y no existan puntos de mayor concentración, en esta etapa también es indispensable el uso de electrolitos como la sal industrial (NaCl) la cual ayuda a crear una saturación en el agua y evita la migración del colorante reactivo de la fibra hacia el baño (Choudhury, 2006, pp. 491-493).

Los procesos de tinción del algodón se llevan a temperatura de 100 °C, aunque esta puede variar dependiendo del tipo de colorante reactivo que se utilice es indispensable que la tinción de la fibra natural sea posterior a la de la fibra sintética debido a que si se realiza de forma inversa, el colorante reactivo puede separarse de la fibra y precipitar en el baño manchando la tela (Lockuán, 2012, pp. 90-92).

2.2.4 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).

La fijación de la tela es simplemente un lavado que se realiza a la tela con un agente anti-migrante y un ácido débil que ayudan a reforzar las uniones entre el colorante reactivo y la fibra celulósica, y así evitar una posible migración del colorante, este proceso se lo realiza a temperaturas por debajo de los 60 °C ya que a temperaturas mayores el colorante reactivo puede desprenderse de la fibra celulósica y formar enlaces con el agua del baño, este proceso también es fundamental para evitar que la tela sangre (desprenda colorante) y manche otra tela al momento de confeccionar prendas (Villarquide, 2005, pp. 121-141).

2.3 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).

Para la hidroextracción del tejido tubular los equipos contienen adicionalmente un sistema de entrada de aire con la finalidad de expandir la tela previa a su ingreso a los rodillos lo cual ayuda a la tela pase de forma uniforme.

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.

2.4 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,

La tela ingresa inicialmente hacia un expansor previo a su ingreso a la cámara de convección, este proceso se realiza con el fin de que la tela pase de forma relajada y con la menor cantidad de arrugas posibles, el tiempo de residencia que debe permanecer la tela va a depender del tipo de tela tubular, por ello es necesario una banda transportadora que se ajuste a los requerimientos de velocidad según las especificaciones de cada tela (Mujundar, 2006, pp. 785-788).

2.5 CALANDRADO Y ALMACENAMIENTO

En el proceso de calandrado la tela proveniente de la máquina de secado ingresa a un sistema de rodillos calientes como se muestra en la Figura 2.3, 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.

La tela tubular ingresa en un extensor donde se le estira para que ingrese al sistema de rodillos calientes, este proceso previo de extensión con sobrealimentación permite que la tela ingrese relajada y evita que se generen alteraciones dimensionales en el sentido horizontal, por otro lado ayuda a alcanzar las medidas del ancho establecidas por la fábrica.

Las altas temperaturas permiten que las fibras sintéticas se orienten de mejor manera y así la tela gana resistencia mecánica en la dirección donde éstas fueron orientadas, con este proceso la tela presenta alteraciones dimensionales o encogimientos de hasta un 5 %, finalmente la tela es cortada en rollos de aproximadamente 22 a 23 kg para su posterior embalaje y almacenamiento (Irfan, 2010, pp. 234-236).

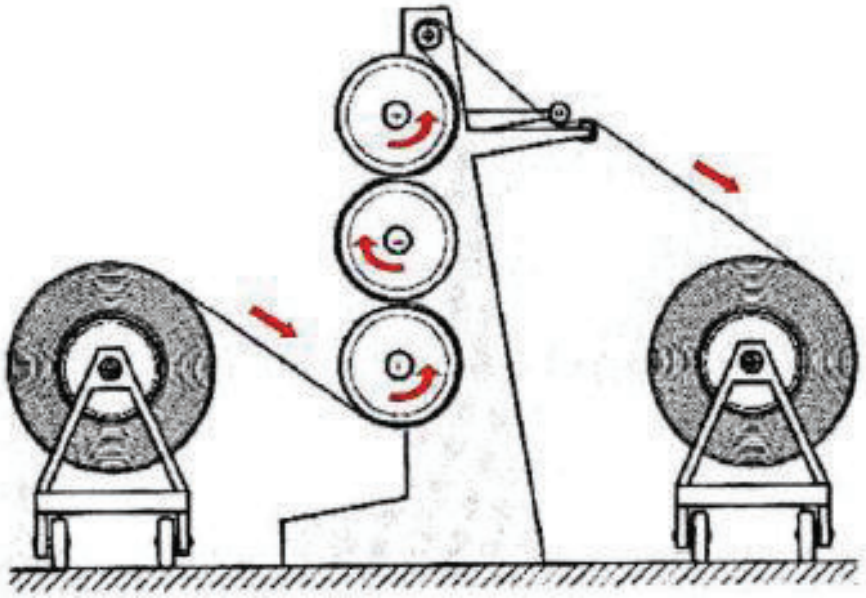


Figura 2.2. Equipo de calandra mediante sistemas de rodillos (vista lateral)
(Lockuán, 2012, p. 6)

3 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.

3.1 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).

3.1.1 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).

La macro localización de la planta está determinado por la provincia, ciudad y sector en el cual la fábrica va a establecerse, dicho sector está determinado por los intereses propios de la fábrica y el cumplimiento con los requisitos establecidos por el Distrito Metropolitano de Quito en la Ordenanza N°127-2016 (Distrito Metropolitano de Quito, 2016). Para la macro localización, la fábrica estará situada en la provincia de Pichincha en el sector de Calacalí.

La micro localización de la planta detalla con más precisión la dirección donde se va a establecer la planta, y es aquella que se debe considerar para determinar los proveedores, normas y servicios básicos que requiere para su funcionamiento. La planta tiene como dirección la avenida Manuel Córdova Galarza y calle La Pampa.

3.1.2 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_2CO_3: Max. 0,50 % peso. NaCl: Max. 0,50 % m/m. Na_2SO_4: Max. 0,02 % m/m.
H_2O_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_2CO_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	Punto de Ebullición: 118 °C Densidad Relativa del Vapor : 2,10 g/mL (glacial) Punto de Fusión: 16,6 °C (glacial) pH: 2,4 (Solución acuosa 1 M)
Eurolevel	Carácter ligeramente catiónico Estado: Líquido pH de la solución de 5 % Sobre 7 y 9 Estabilidad en almacenamiento estable durante al menos 1 año en envases cerrados a 20 °C. pH: 2,4 (Solución acuosa 1 M)
NaCl (industrial)	Apariencia: Cristales blancos Sólido pH: Mayor de 6,0 Densidad : 1,17 g/mL Punto de Fusión: 204 °C Muy soluble en agua

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)

Tabla 3.5. Valores de agua potable

Consumo (m^3)	Precio (USD/m^3)
0 – 20 (zona urbana)	0,31
21 – 25 (zona urbana)	0,43
Superior a 26 (zona urbana)	0,72
0 – 30 (zona rural)	0,31
Superior a 31 (zona rural)	0,43

(EPMAPS, 2016)

3.1.3 NORMAS QUE RIGEN LA UBICACIÓN DE LA PLANTA

De acuerdo a la ubicación de la planta, se deben cumplir con las normas necesarias para su funcionamiento (Jenkins y García, 2008, pp. 95-107), como la fábrica se encuentra en el Distrito Metropolitano de Quito una de las normas principales a cumplir son las establecidas por la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito (Secretaría de Ambiente, DMQ, Resolución NO.SA-DGA-NT002-2016).

Entre las normas más relevantes tenemos en la resolución, se tiene:

- Valores máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión.
- Límites máximos permisibles por cuerpo receptor para descargas líquidas.
- Guía de parámetros mínimos por sectores productivos.
- Niveles máximos de emisión de ruido sonoro.

3.2 CRITERIOS PARA DISEÑO DE EQUIPOS

Para los diseños de los equipos tanto principales como auxiliares 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

3.2.1 CRITERIOS PARA DISEÑO DE EQUIPOS PRINCIPALES

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/in^2)
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).

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

Donde:

e_t: espesor del tanque (mm)

δ_L: densidad del líquido (kg/m^3)

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

g: aceleración gravitacional (9,81 m/s^2)

S_t: tensión máxima permisible según el material (N/mm^2)

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/ m^2.°C]**
Agua/Solución acuosa diluida	Agua/Solución acuosa diluida	1 419 - 2 838,6
Liquido orgánico ligero	Agua/Solución acuosa diluida	425,8 - 1 419,3
Liquido orgánico medio	Agua/Solución acuosa diluida	282,8 - 709,65
Liquido orgánico pesado	Agua/Solución acuosa diluida	56,77 - 425,79
Vapor	Aire	28 - 280

(Perry, 2000, pp. 47-49)

$$A = \frac{Q}{LMTD \times Us \times fr} \qquad [3.2]$$

Donde:

A: área total de transferencia del intercambiador (m^2)

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.

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

Donde:

de: diámetro exterior del tubo (m)
A: área total de transferencia del intercambiador (m^2)
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.

$$v = \frac{\dot{m}}{\delta \times At} \qquad [3.4]$$

Donde:

v: velocidad del fluido por el interior de los tubos (m/s)
$\dot{m}$: flujo másico (kg/s)
At: área transversal de todos los tubos por donde circula el fluido (m^2)
δ: densidad del fluido (kg/m^3)

$$U_L = \frac{1}{hi^{-1} + he^{-1}} \qquad [3.5]$$

Donde:

U_L: coeficiente de transferencia de calor limpio ($W/m^2.°C$)

hi: coeficiente de convección del fluido interno ($W/m^2.°C$)

he: coeficiente de convección del fluido externo ($W/m^2.°C$)

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.

$$Re = \frac{1}{Us} - \frac{1}{U_L} \qquad [3.6]$$

Donde:

U_s: coeficiente de transferencia de calor sucio ($W/m^2.°C$)

Re: resistencia al ensuciamiento ($m^2.°C/W$)

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).

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

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).

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

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),

Las 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/m^3
B- Materiales no abrasivos o muy poco abrasivos con peso específico de 1,0-1,5 t/m^3
C- Materiales medianamente abrasivos y pesados con peso específico de 1,5-2,0 t/m^3
D- Materiales muy abrasivos, pesados y cortantes con peso específico de 2,0 t/m^3

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).

3.2.2 CRITERIOS PARA DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS AUXILIARES

Dentro de los equipos auxiliares a dimensionar se tienen:

- Sistemas de tuberías y válvulas.
- Bombas centrifugas.
- Sistema de generación de vapor (caldero).

Para el seleccionamiento de las tuberías tanto de vapor como de agua se tomó como consideración el recubrimiento que deben poseer, los espesores normalizados por la norma API RP 14E *Section of pipe* (API RP 14E, 1991, p. 44) los cuales se muestran en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Espesor de la tubería y del aislamiento a diferentes temperaturas

Temperatura (°F)	Tamaño nominal de la tubería (pulgadas)									
	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4	6	8	12 o más
750	2	2	2	2	2	2	2	2 1/2	3	3
600	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	2	2	2	2 1/2	2 1/2
500	1	1	1	1	1 1/2	1 1/2	1 1/2	2	2	2
250	1	1	1	1	1	1	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1 1/2	1 1/2
30	1	1	1	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
20	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	2	2	2
10	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	2	2	2	2	2 1/2	2 1/2

(API RP 14E Section, 1991, p.44)

Las temperaturas y presiones de operación que deben cumplir las tuberías fueron tomadas bajo la norma ASME B31.3 tuberías de proceso (ASME B31.3, 2010, pp. 11-21). Mientras que para el rango de velocidades recomendadas para fluidos en tuberías, fueron considerados de la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Velocidades de fluidos dentro de tuberías

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad
		m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,15 - 0,3
	Entrada de bomba	0,3 - 0,9
	Salida de bomba	1,2 - 3,0
	Línea de conducción	1,2 - 2,4
Vapor de agua		9,0 -15,0
Aire o Gas		9,0 - 30,0

(McCabe, Smith y Harriot, 2007, pp. 207-209)

En el dimensionamiento de las bombas, se consideró un factor de seguridad del 10 % (Peters y Timmerhaus, 2002, p. 37), posteriormente se determinó la altura de bomba necesaria mediante la ecuación de Bernoulli, Ecuación 3.10, considerando la variación de presión, las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería y las pérdidas por accesorios (Beverly, 2009, pp. 4-9; Xia, Zhang y Zhang, 2012, pp. 42-43). La potencia requerida por la bomba se calculó según la Ecuación 3.11 (Sinnott, 2009, p. 199; Streeter, 2000, p. 511).

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+Z_1+H_B=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+Z_2+hf_{suc}+hf_{des}+\sum ki\frac{v_1^2}{2g}+\sum ki\frac{v_2^2}{2g} \qquad 3.10]$$

Donde:

P_1: presión 1 (N/m^2)

P_2: presión 2 (N/m^2)

γ: peso específico ($kg/m \cdot s$)

g: gravedad (m^2/s)

v_1: velocidad 1 (m/s)

v_2: velocidad 2 (m/s)

Z_1: altura desde el punto 1 (m)

H_B: altura de la bomba (m)

Z_2: altura desde el punto 2 (m)

hf_{suc}: pérdida de carga en la succión (m)

hf_{des}: pérdida de carga en la descarga (m)
ki: constante de descarga de cada accesorio

$$Pot=Q \times \gamma \times H_B \quad [3.11]$$

Donde:

Pot: potencia de la bomba (W)
Q: caudal del fluido (m^3/s)
γ: peso específico (kg/m^2s^2)
H_B: altura de la bomba (m)

Para el dimensionamiento de las válvulas se tomó como parámetros de diseño el caudal máximo que debe circular por la tubería, la caída de presión, densidad del fluido, con un sobredimensionamiento del 10 % y una abertura entre el 20 al 50 % de la válvula (Hans, 2009, pp. 21-26) y se calculó el coeficiente de la válvula mediante la Ecuación 3.12

$$Kv=Q\sqrt{\frac{SG}{\Delta P}} \quad [3.12]$$

Donde:

Kv: constante de descarga ($m^3/h * Pa^{-1/2}$)
ΔP: caída de presión (Pa)
SG: gravedad especifica del fluido
Q: caudal del efluente (m^3/h)

Para el dimensionamiento del caldero se tomó en cuenta la cantidad de vapor obtenido en el balance de energía al cual se consideró un sobredimensionamiento del 15 %. El caldero debe trabajar usando como combustible diésel debido a que éste genera menos contaminación que el búnker (Eisted, Larsen y Christensen, 2009, pp. 739-742).

Los BHP requeridos por el caldero se obtuvieron mediante la Ecuación 3.13 en base a la cantidad de vapor requerido por la fábrica (Kohan, 2000, pp. 47-83), mientras que para el cálculo de la cantidad de combustible se empleó la Ecuación 3.14, el diésel es usado debido a que generan menos contaminantes durante su combustión con respecto al búnker que es el combustible comúnmente usado en las industrias (Montes, Dominguez y Roviera. 2014, pp. 407-412).

$$BHP=Q_{vapor}\ \frac{0,0024*3600}{8\ 436,24} \qquad [3.13]$$

Donde:

Q_{vapor}: flujo de calor suministrado por el vapor (W)

$$\dot{m}_{combustión}= \frac{\dot{Q}_{combustión}}{Pc} \qquad [3.14]$$

Donde:

$\dot{m}_{combustión}$: flujo másico del combustible (kg/s)
$Q_{combustión}$: flujo calórico de combustión (W)
Pc: poder calorífico del combustible (J/kg)

La determinación del flujo másico de los gases de combustión así como la temperaturas tanto de combustión del diésel se determinaron mediante un balance de masa tomando en consideración las Ecuaciones 3.15 a 3.17, con un exceso de oxígeno del 12 % (Felder y Rousseau, 2004, pp. 90-56 y 116-120).

$$C_{(s)}+O_{2(g)}\rightarrow CO_{2(g)} \qquad [3.15]$$

$$H_{2(g)}+\frac{1}{2}O_{2(g)}\rightarrow H_2O_{(g)} \qquad [3.16]$$

$$S_{(s)}+O_{2(g)}\rightarrow SO_{2(g)} \quad [3.17]$$

Finalmente se seleccionó el caldero mediante catálogo al igual que el quemador tomando en consideración la normativa ASME 2010 *"Reglas para la construcción de calderas de potencia"* (ASME, 2010, p. 148).

Los diagramas PFD y P&ID fueron realizados en 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 fueron considerados bajo la norma ANSI/ISA S 5.1 *"Instrumentation Symbols and Identification"* (ANSI/ISA S5.1, 1986, pp. 29-39).

4 DISEÑO DE LA PLANTA

4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES BPD Y DIAGRAMA DE FLUJO PFD

4.1.1 DIAGRAMA DE BOQUES BPD DEL PROCESO DE ACABADOS TEXTILES

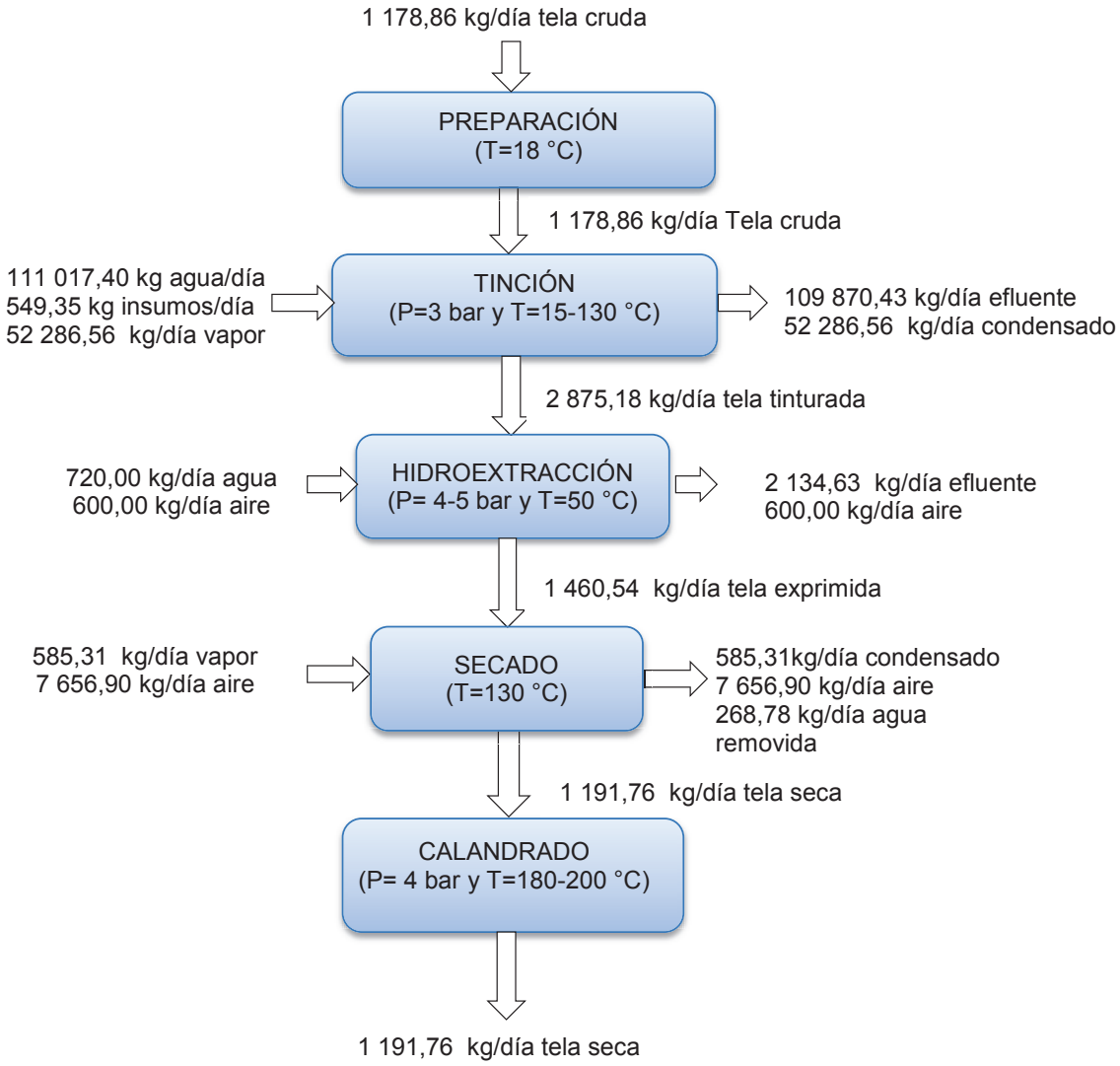


Figura 4.1. Diagrama de bloques del proceso de acabados textiles

4.1.2 DIAGRAMA DE BOQUES BPD DEL PROCESO DE TINTURACIÓN

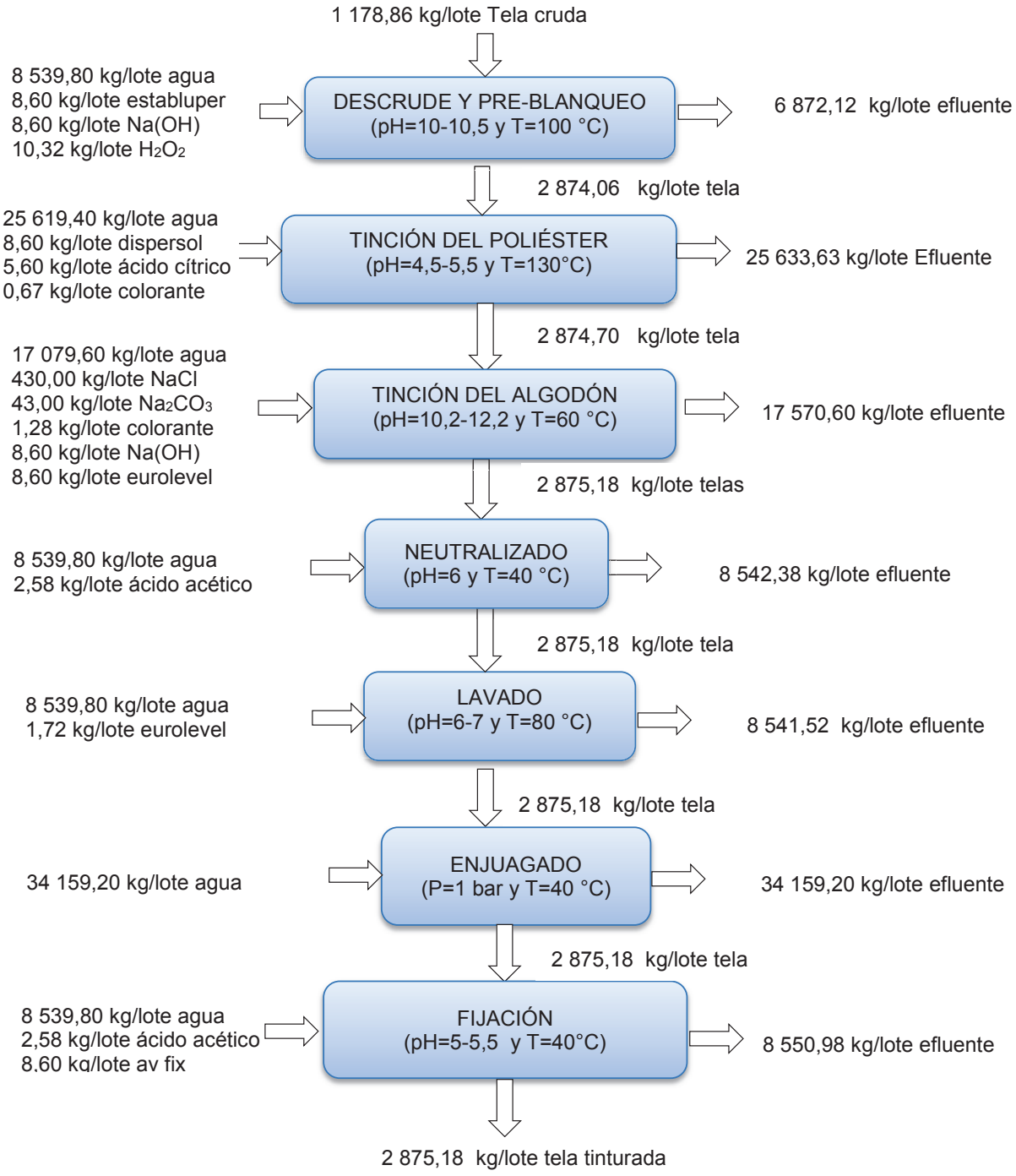
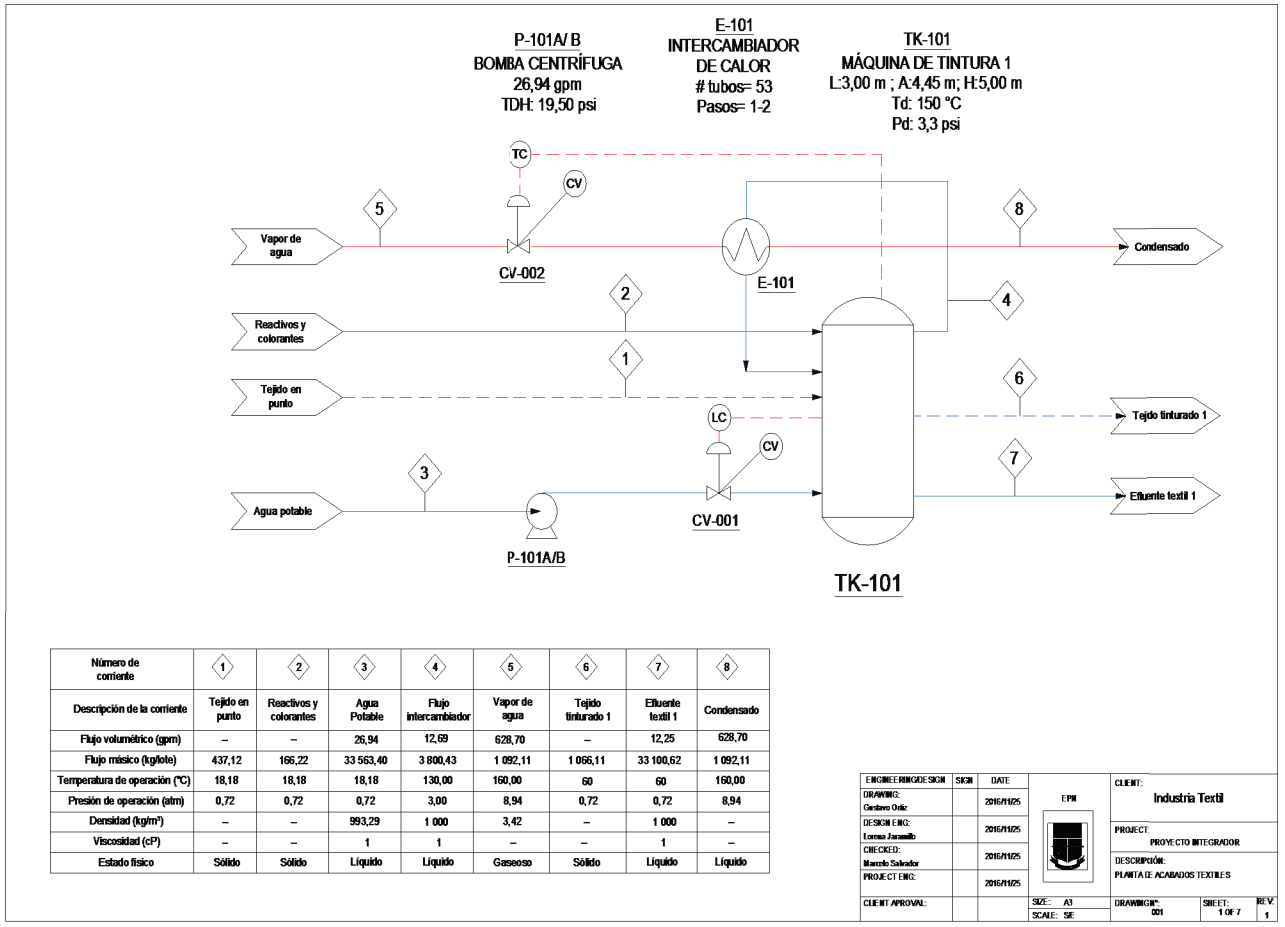


Figura 4.2. Diagrama de bloques del proceso de tinturación

4.1.3 DIAGRAMA DE FLUJO PFD



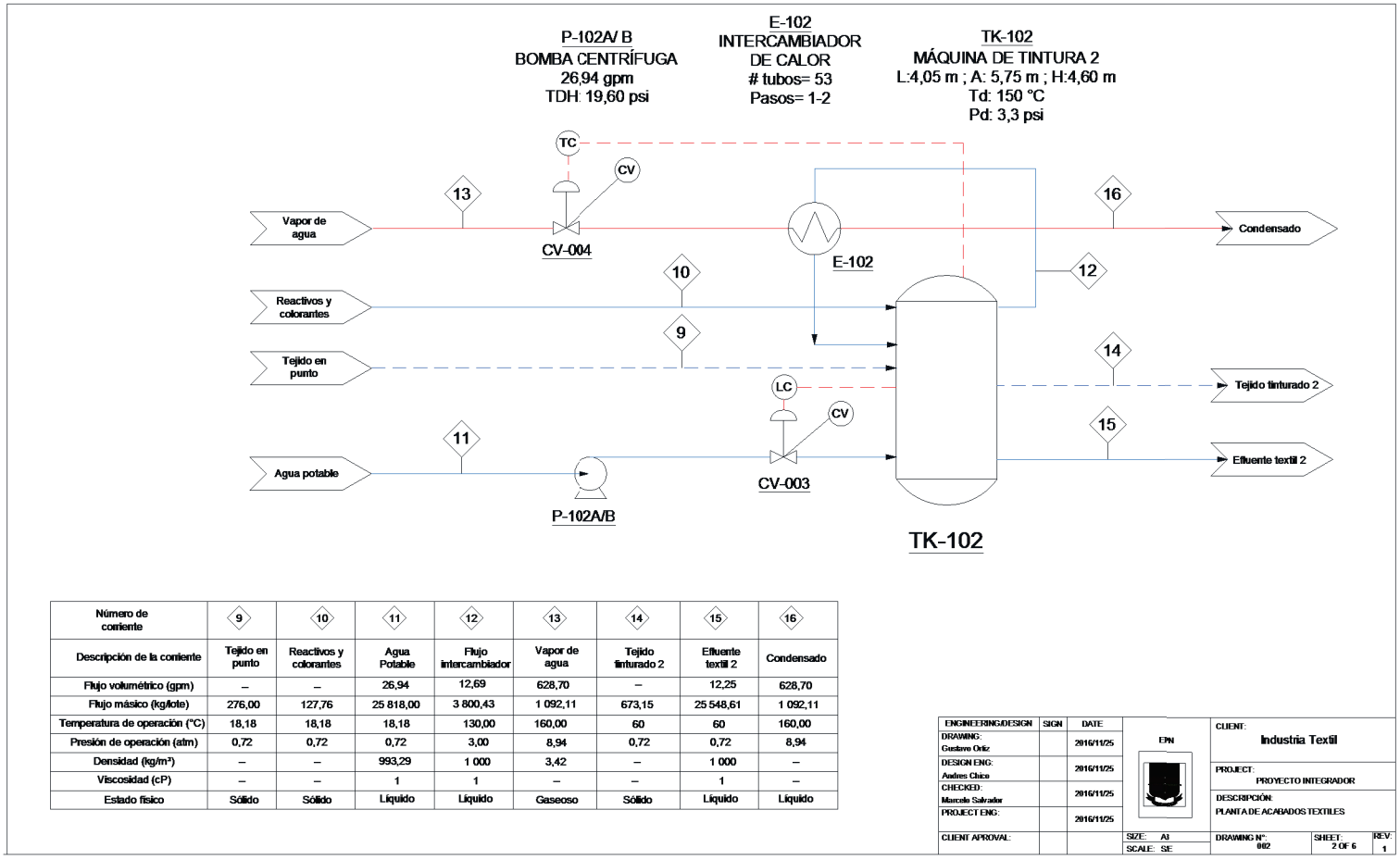
Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción de la corriente	Tejido en punto	Reactivos y colorantes	Agua Potable	Flujo intercambiador	Vapor de agua	Tejido tinturado 1	Efluente textil 1	Condensado
Flujo volumétrico (gpm)	–	–	26,94	12,69	628,70	–	12,25	628,70
Flujo másico (kg/lote)	437,12	166,22	33 563,40	3 800,43	1 092,11	1 066,11	33 100,62	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/m³)	–	–	993,29	1 000	3,42	–	1 000	–
Viscosidad (cP)	–	–	1	1	–	–	1	–
Estado físico	Sólido	Sólido	Líquido	Líquido	Gaseoso	Sólido	Líquido	Líquido

ENGINEERING DESIGN	SIGN	DATE
DRAWING: Gustavo Ortiz		2016/11/25
DESIGN ENG: Lorena Jaramillo		2016/11/25
CHECKED: Marcelo Salvador		2016/11/25
PROJECT ENG:		2016/11/25
CLIENT APROVAL:		

EPN

CLIENT: Industria Textil
PROJECT: PROYECTO INTEGRADOR
DESCRIPCIÓN: PLANTA DE ACABADOS TEXTILES
SIZE: A3 | SCALE: SE
DRAWING N°: 001 | SHEET: 1 OF 7 | REV: 1

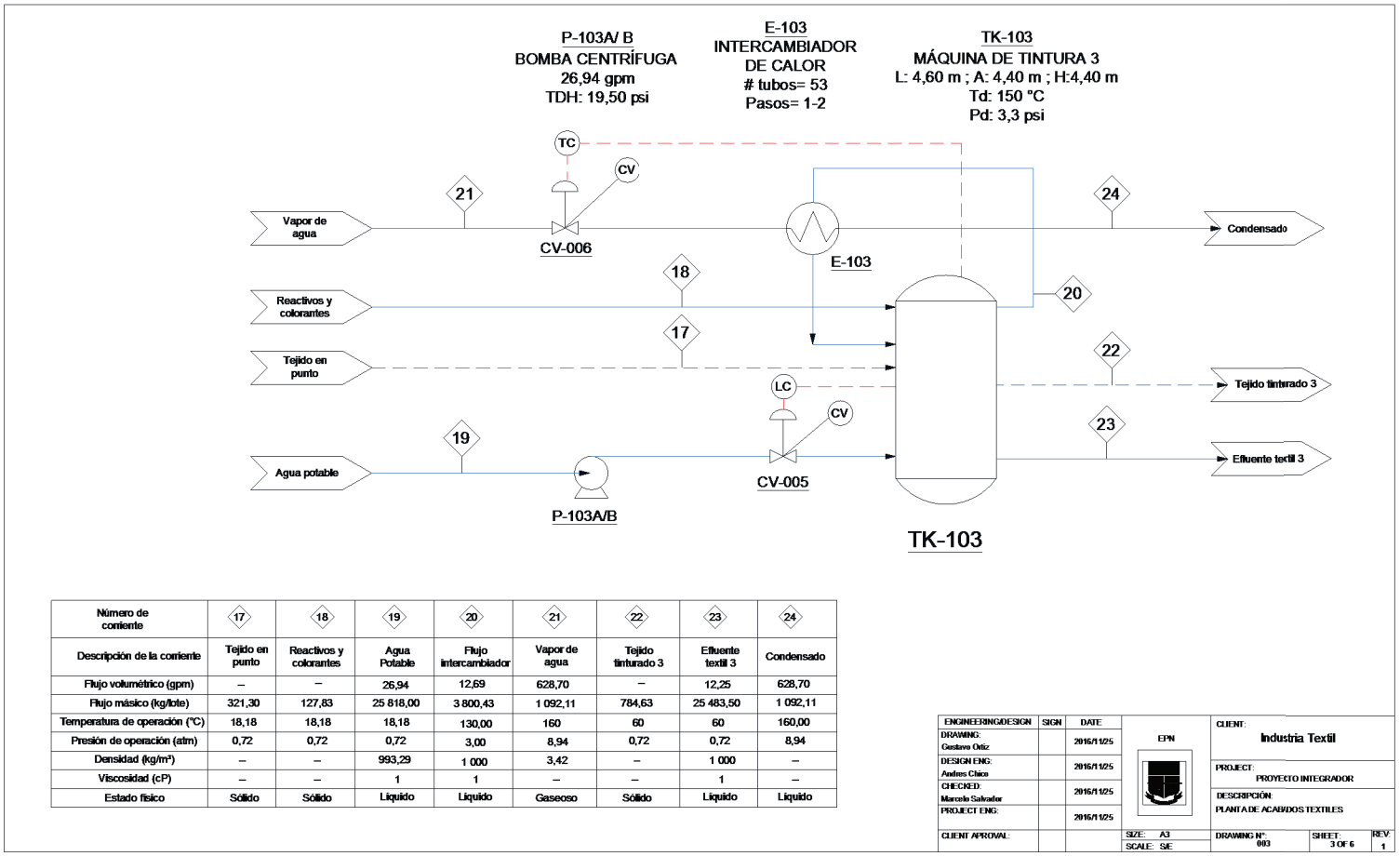
Figura 4.3. Diagrama de flujo parte 1



Número de corriente	9	10	11	12	13	14	15	16
Descripción de la corriente	Tejido en punto	Reactivos y colorantes	Agua Potable	Flujo 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/lote)	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/m³)	–	–	993,29	1 000	3,42	–	1 000	–
Viscosidad (cP)	–	–	1	1	–	–	1	–
Estado físico	Sólido	Sólido	Líquido	Líquido	Gaseoso	Sólido	Líquido	Líquido

ENGINEERING/DESIGN	SIGN	DATE		CLIENT: Industria Textil
DRAWING: Gustavo Ortiz		2016/11/25	EPN	
DESIGN ENG: Andres Chico		2016/11/25		PROJECT: PROYECTO INTEGRADOR
CHECKED: Marcelo Salvador		2016/11/25		DESCRIPCIÓN: PLANTA DE ACABADOS TEXTILES
PROJECT ENG:		2016/11/25		
CLIENT APROVAL:			SIZE: A0 SCALE: SE	DRAWING N°: 002 / SHEET: 2 OF 6 / REV: 1

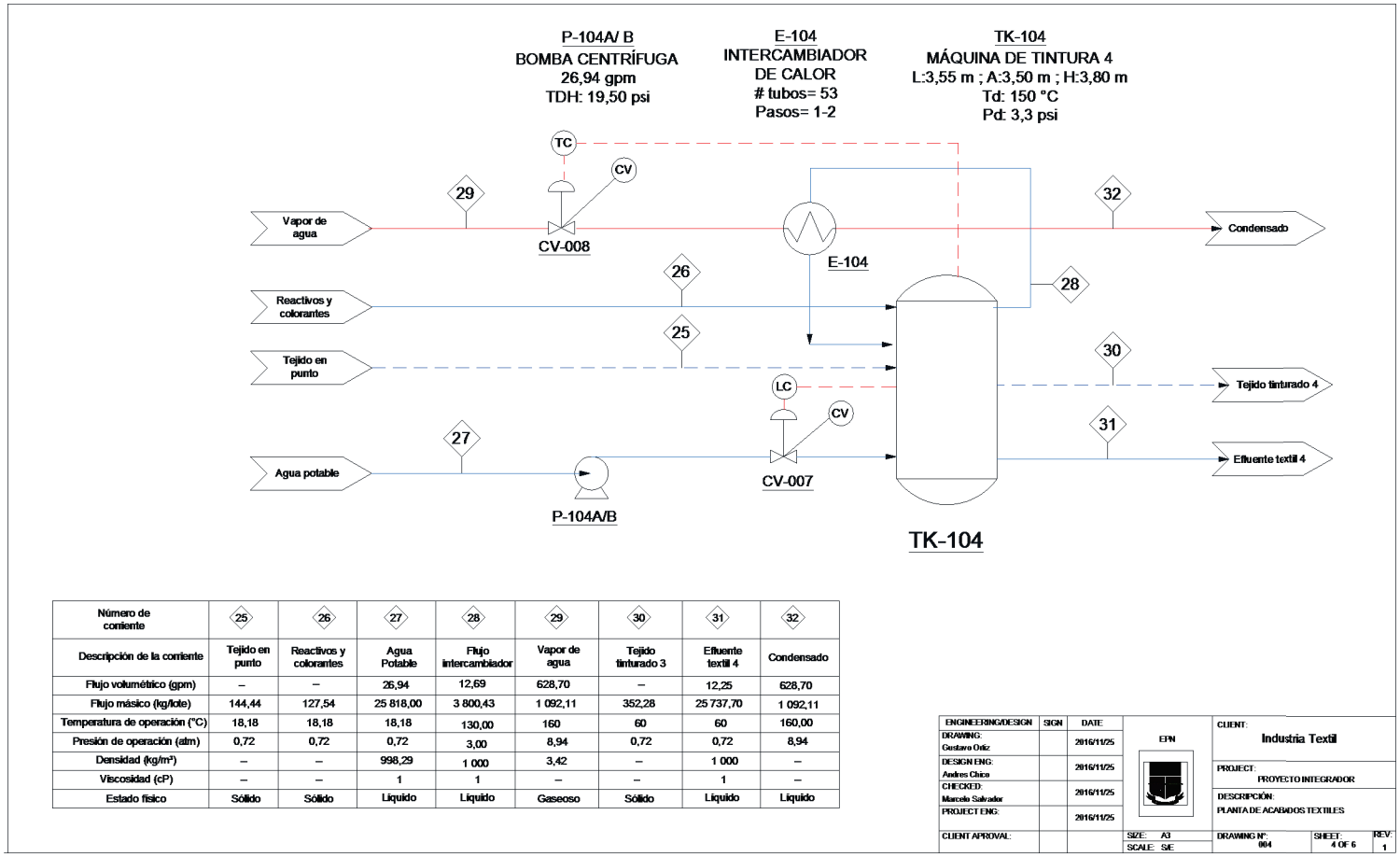
Figura 4.4. Diagrama de flujo parte 2



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/m³)	–	–	993,29	1 000	3,42	–	1 000	–
Viscosidad (cP)	–	–	1	1	–	–	1	–
Estado físico	Sólido	Sólido	Líquido	Líquido	Gaseoso	Sólido	Líquido	Líquido

ENGINEERING/DESIGN	SIGN	DATE		CLIENT: Industria Textil
DRAWING: Gustavo Ortiz		2016/11/25	EPN	
DESIGN ENG: Andres Chico		2016/11/25		PROJECT: PROYECTO INTEGRADOR
CHECKED: Marcelo Salvador		2016/11/25		DESCRIPCIÓN: PLANTA DE ACABADOS TEXTILES
PROJECT ENG:		2016/11/25		
CLIENT APROVAL:			SIZE: A3 SCALE: S/E	DRAWING N°: 003 / SHEET: 3 OF 6 / REV: 1

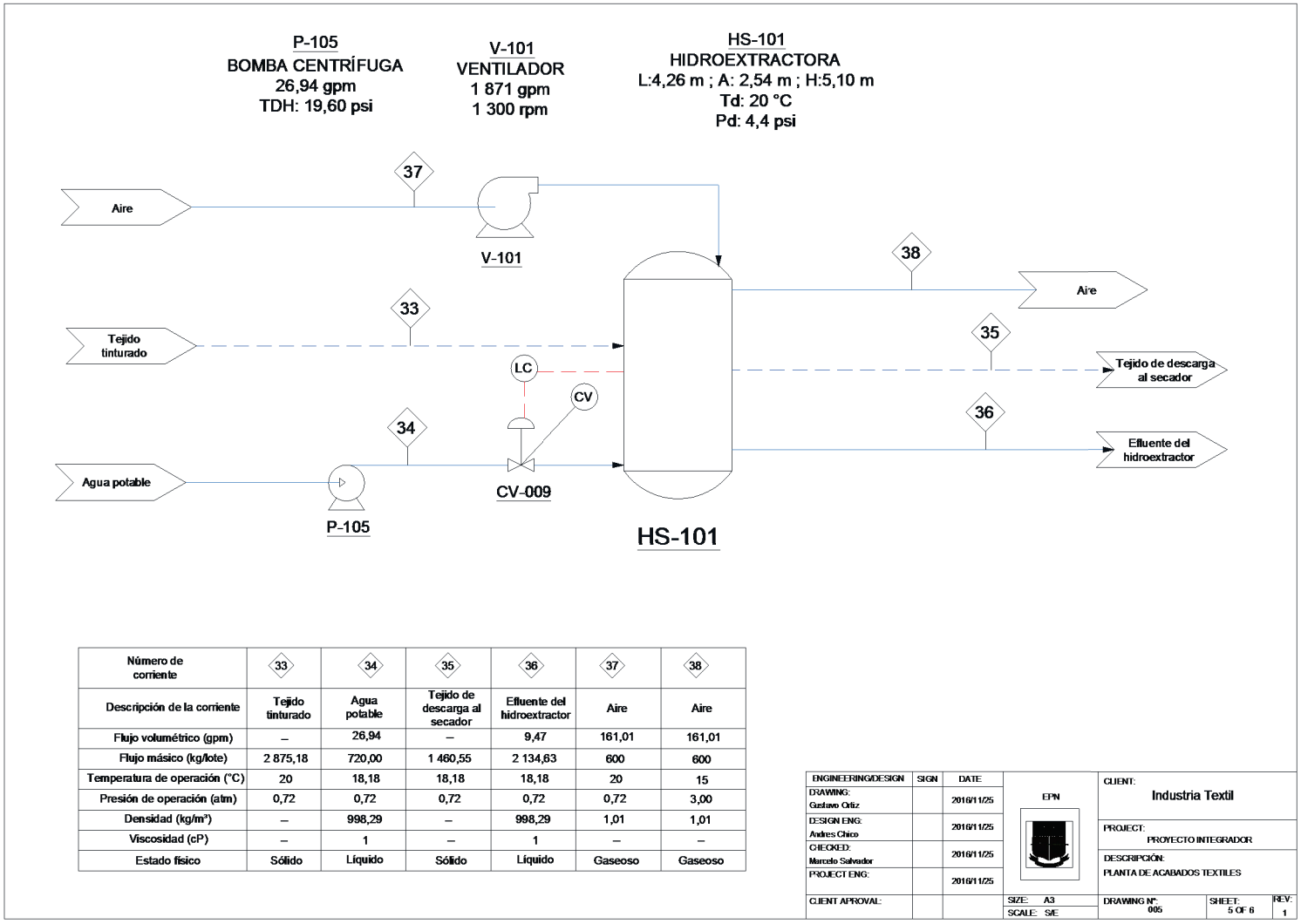
Figura 4.5. Diagrama de flujo parte 3



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	Efluente textil 4	Condensado
Flujo volumétrico (gpm)	–	–	26,94	12,69	628,70	–	12,25	628,70
Flujo másico (kg/lote)	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/m³)	–	–	998,29	1 000	3,42	–	1 000	–
Viscosidad (cP)	–	–	1	1	–	–	1	–
Estado físico	Sólido	Sólido	Líquido	Líquido	Gaseoso	Sólido	Líquido	Líquido

ENGINEERING/DESIGN	SIGN	DATE		CLIENT: Industria Textil
DRAWING: Gustavo Ortiz		2016/11/25	EPN	
DESIGN ENG: Andres Chico		2016/11/25		PROJECT: PROYECTO INTEGRADOR
CHECKED: Marcelo Salvador		2016/11/25		DESCRIPCIÓN: PLANTA DE ACABADOS TEXTILES
PROJECT ENG:		2016/11/25		
CLIENT APROVAL:			SIZE: A3 SCALE: S/E	DRAWING Nº: 004 / SHEET: 4 OF 6 / REV: 1

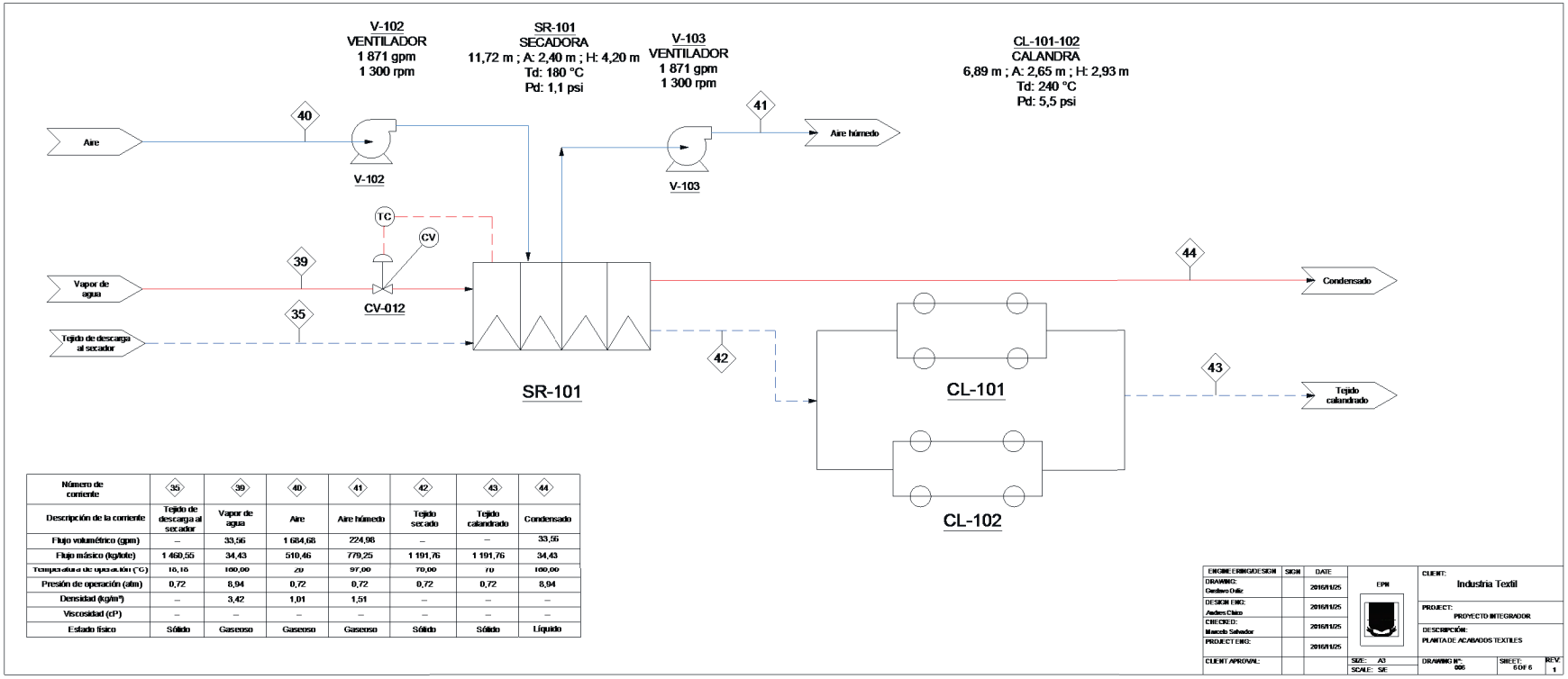
Figura 4.6. Diagrama de flujo parte 4



Número de corriente	33	34	35	36	37	38
Descripción de la corriente	Tejido tinturado	Agua potable	Tejido de descarga al secador	Efluente del hidroextractor	Aire	Aire
Flujo volumétrico (gpm)	–	26,94	–	9,47	161,01	161,01
Flujo másico (kg/lote)	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/m³)	–	998,29	–	998,29	1,01	1,01
Viscosidad (cP)	–	1	–	1	–	–
Estado físico	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido	Gaseoso	Gaseoso

ENGINEERING/DESIGN	SIGN	DATE		CLIENT: Industria Textil
DRAWING: Gustavo Ortiz		2016/11/25	EPN	
DESIGN ENG: Andres Chico		2016/11/25		PROJECT: PROYECTO INTEGRADOR
CHECKED: Marcelo Salvador		2016/11/25		DESCRIPCIÓN: PLANTA DE ACABADOS TEXTILES
PROJECT ENG:		2016/11/25		
CLIENT APROVAL:			SIZE: A3 SCALE: S/E	DRAWING Nº: 005 / SHEET: 5 OF 6 / REV: 1

Figura 4.7. Diagrama de flujo parte 5



Número de corriente	35	39	40	41	42	43	44
Descripción de la corriente	Tejido de descarga al secador	Vapor de agua	Aire	Aire húmedo	Tejido secado	Tejido calandrado	Condensado
Flujo volumétrico (gpm)	–	33,56	1 684,68	224,98	–	–	33,56
Flujo másico (kg/lote)	1 460,55	34,43	510,46	779,25	1 191,76	1 191,76	34,43
Temperatura de operación (°C)	16,16	100,00	29	97,00	70,00	70	100,00
Presión de operación (atm)	0,72	8,94	0,72	0,72	0,72	0,72	8,94
Densidad (kg/m³)	–	3,42	1,01	1,51	–	–	–
Viscosidad (cP)	–	–	–	–	–	–	–
Estado físico	Sólido	Gaseoso	Gaseoso	Gaseoso	Sólido	Sólido	Líquido

ENGINEERING/DESIGN	SIGN	DATE		CLIENT: Industria Textil
DRAWING: Cardoso Dalia		2016/11/25	EPN	
DESIGN ENG: Andres Chico		2016/11/25		PROJECT: PROYECTO INTEGRADOR
CHECKED: Marcelo Salvador		2016/11/25		DESCRIPCIÓN: PLANTA DE ACABADOS TEXTILES
PROJECT ENG:		2016/11/25		
CLIENT APROVAL:			SIZE: A3 SCALE: S/E	DRAWING N°: 005 SHEET: 6 DE 6 REV: 1

Figura 4.8. Diagrama de flujo parte 6

4.2 BALANCE DE MASA

En la Tabla 4.1 se indican los requerimientos de vapor por parte de las máquinas cuyos cálculos se encuentran especificados en el Anexo II.

Tabla 4.1. 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 4.2. 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, los cálculos y el tratamiento de datos se los encuentra en el Anexo I.

Tabla 4.2. Resultados del balance de masa para un lote de tela cruda

	EQUIPO						
Insumo	**Fong's**	**Thies**	**Devrekha**	**Tecninox**	**Hidroextractor**	**Total**	**Unidad**
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

4.3 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 4.9 a 4.12.

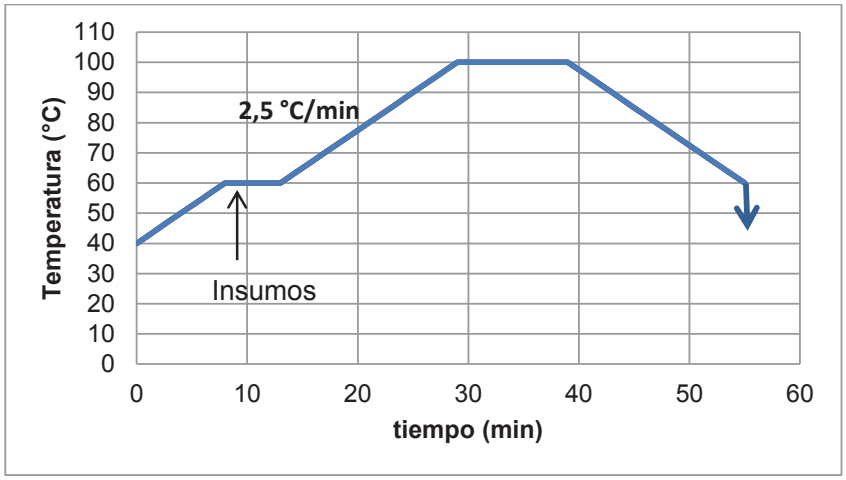


Figura 4.9 Curva de descrude y pre-blanqueo del poli-algodón

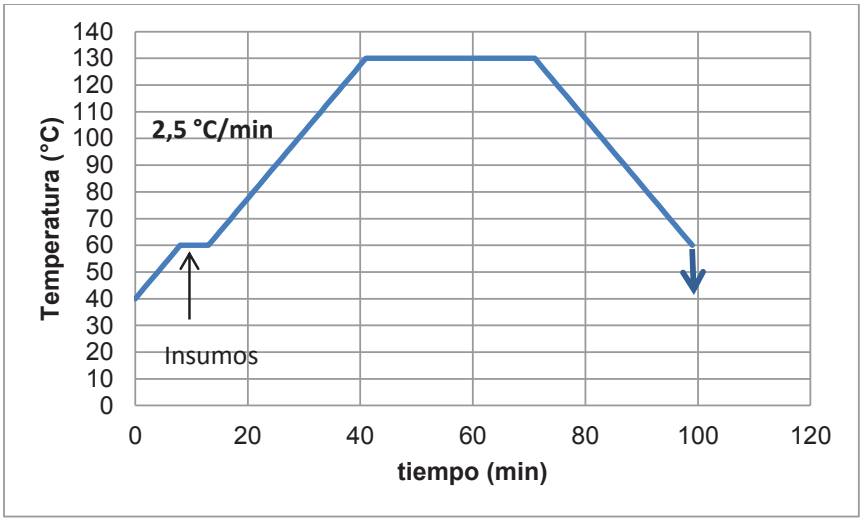


Figura 4.10 Curva de tinturación del poliéster

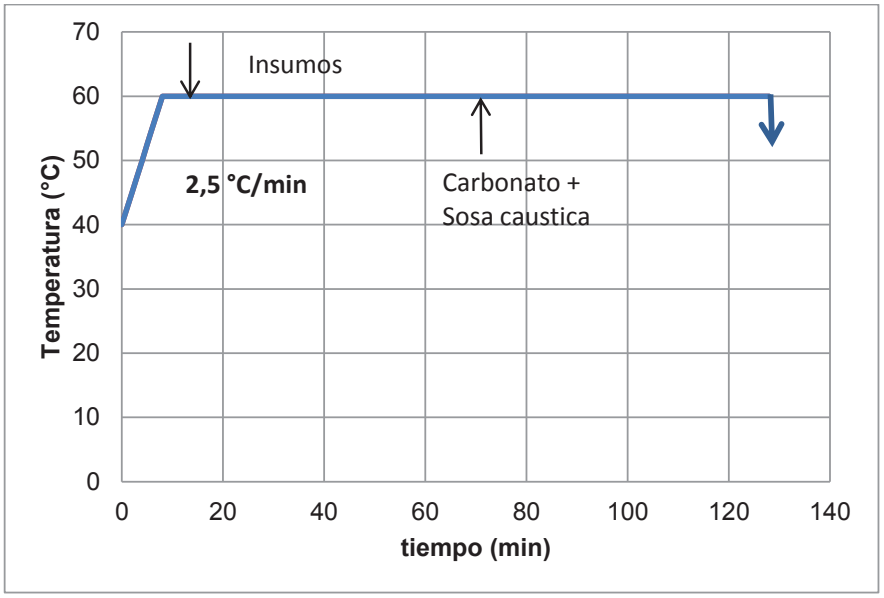


Figura 4.11 Curva de tinturación del algodón

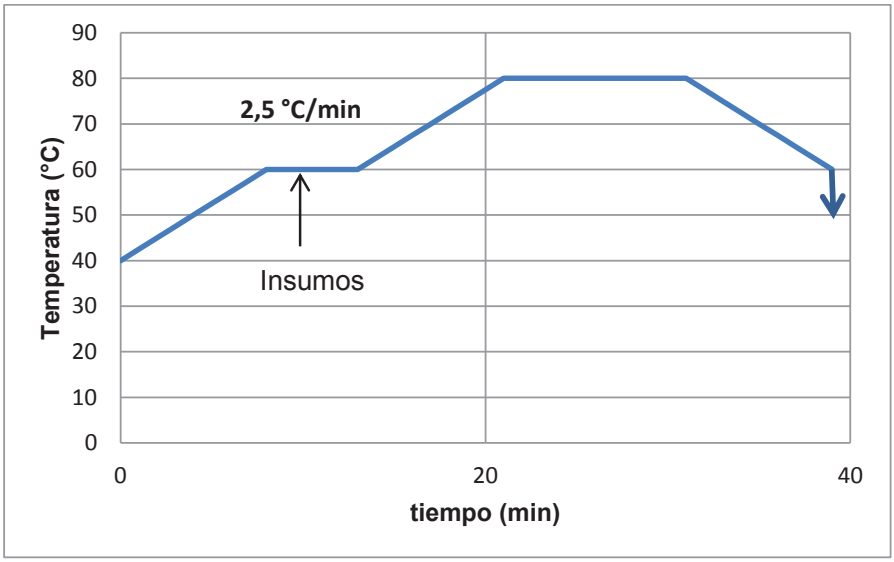


Figura 4.12 Curva del lavado del poli-algodón

Si se analizan las Figuras 4.9 a 4.12, 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 4.3. Se consideró

adicionalmente un tiempo estimado de 25 minutos en el cual el operario prepara la tela y la carga al equipo.

Tabla 4.3. Planificación operacional de los principales equipos de la planta

Hora	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado
0:00		T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	H+ S
1:00		T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	H+ S
2:00		T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	H+ S
3:00		T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	H+ S
4:00		T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	H+ S
5:00		T + H+ S	T + H+ S	T + H+ S	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	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	C
9:00	T	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	C
10:00	T	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	C
11:00	T	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	C
12:00	T	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	C
13:00	T	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	C
14:00	T	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	
15:00	T	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	
16:00	T	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	
17:00	H + S	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	T + H+ S+ C	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 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.

La secadora debe iniciar su encendido con 2 horas de anticipación para que la cámara de convección alcance las condiciones de operación correspondientes.

Durante la descarga de las 2 primeras máquinas de tinción se deben iniciar las operaciones de hidroextracción y secado, al ser estos procesos continuos trabajarán durante las 24 horas, mientras que el proceso de calandrado únicamente laborará en jornada de 9 horas diarias, a excepción de los sábados donde solo se operará 6 horas.

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 4.4 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.

Tabla 4.4. Distribución de los operadores en planta

Proceso	Máquinas	Número de operadores	Jornada laboral
Preparación y tinturación	4	4	12 horas
Hidroextración	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

4.4 BALANCE DE ENERGÍA

En la Tabla 4.5 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 Anexo II.

Tabla 4.5. 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 4.6 se muestran las especificaciones del sistema de bombeo, tuberías y válvulas que deben tener los sistemas de transporte de agua.

Tabla 4.6. 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
Cisterna – Tecninox	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

4.5 DISPOSICIÓN EN PLANTA (LAYOUT)

La superficie total disponible que posee la fábrica Industriales Textiles Tornasol S.A. es de 2,23 km^2. En la Figura 4.13 se indica la disposición que debe tener la fábrica tomando en consideración las zonas de operación, bodega, zona de caldero, zona administrativa, etc.

Para la distribución de las diferentes zonas de operación de la fábrica se consideró una separación y una ubicación de acuerdo a los procesos establecidos y al tipo de riesgo de cada zona, la bodega de químicos contiene materiales corrosivos e inflamables por lo cual debe estar lejos de la zona de caldero, además se planteó las rutas de evacuación que debe poseer la planta en caso de emergencias, el personal administrativo se encuentra trabajando en un segundo

piso la cual debe tener aislamiento de ruido y una entrada independiente, la zona de tejeduría debe estar cubierta de material aislante del ruido para que no afecte la comunicación de los operarios de las diferentes zonas, en especial del personal administrativo (De la Fuente y Fernández, 2005, pp. 13-29).

En la Figura 4.14 se presenta la zona de operación junto con la zona de caldero, la cual se encuentra conformado por los equipos de tinturación, la hidroextractora, la secadora y las calandras, mientras que en la zona de caldera se encuentran los equipos auxiliares para la generación del vapor.

En la Figura 4.15 se detallan las dimensiones de los equipos que conforman el área de operación, las cuales tienen como especificación la distancia de separación existente entre un equipo y otro, también se presenta la zona suministros y bodega de acabados, en ésta área simplemente se hace referencia al espacio físico necesario para el almacenamiento de la tela procesada.

A partir de la Figura 4.16 hasta la Figura 4.19 se indican las vistas frontales, laterales y posteriores de los equipos de la zona de operación, se puede apreciar tanto la altura del equipo como el ancho del mismo, las vistas fueron tomadas a partir de la disposición *layout* de la planta la cual se encuentra en la Figura 4.13.

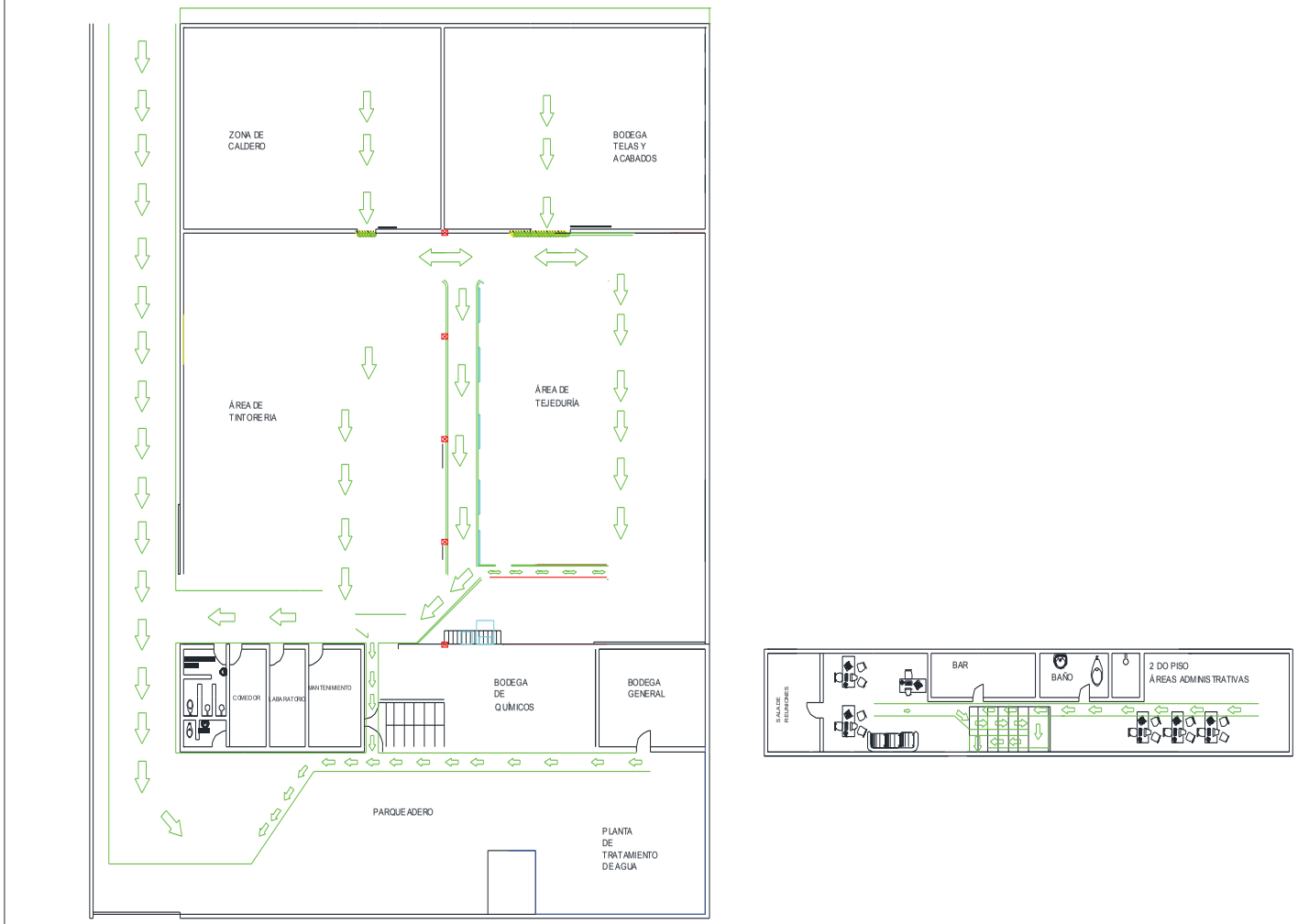


Figura 4.13. Layout de la distribución de la planta

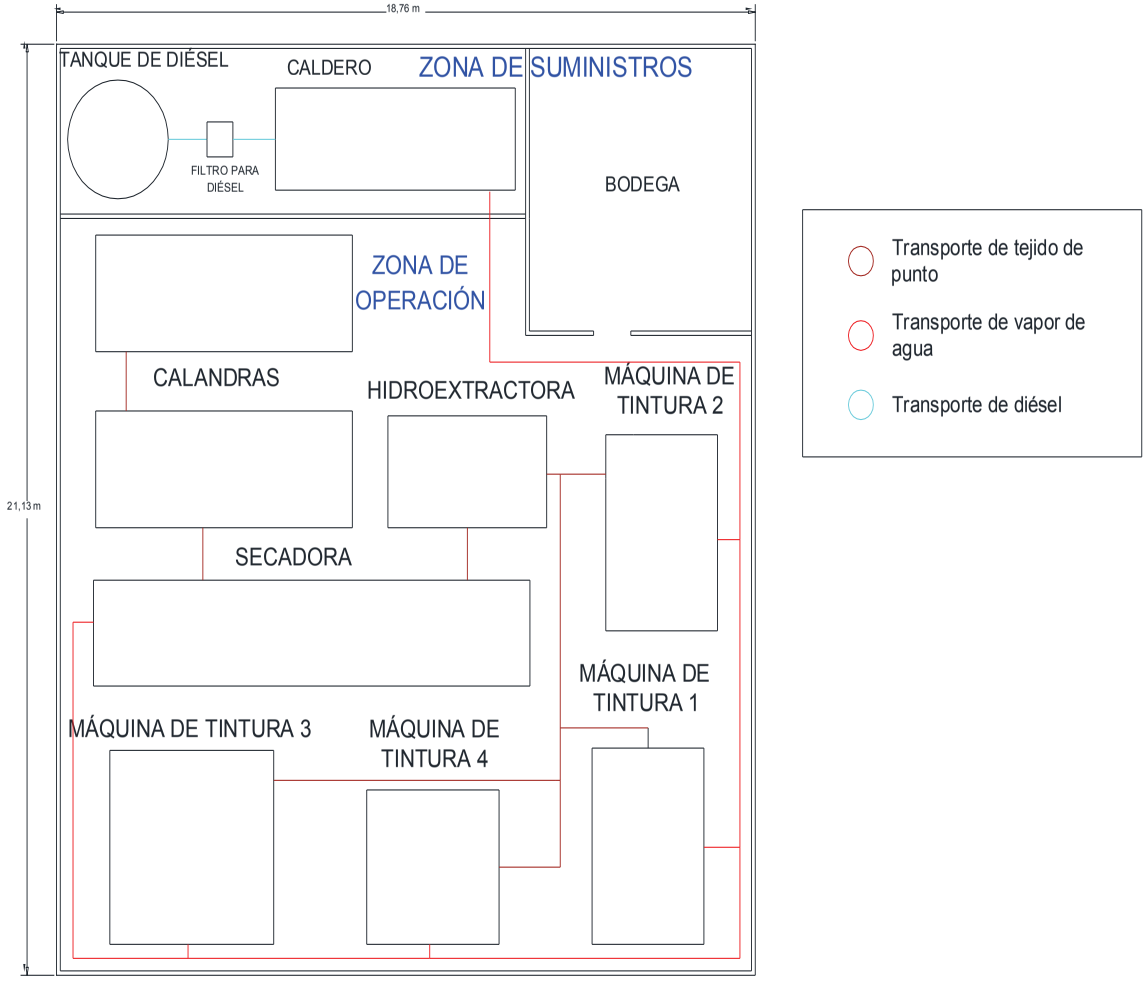
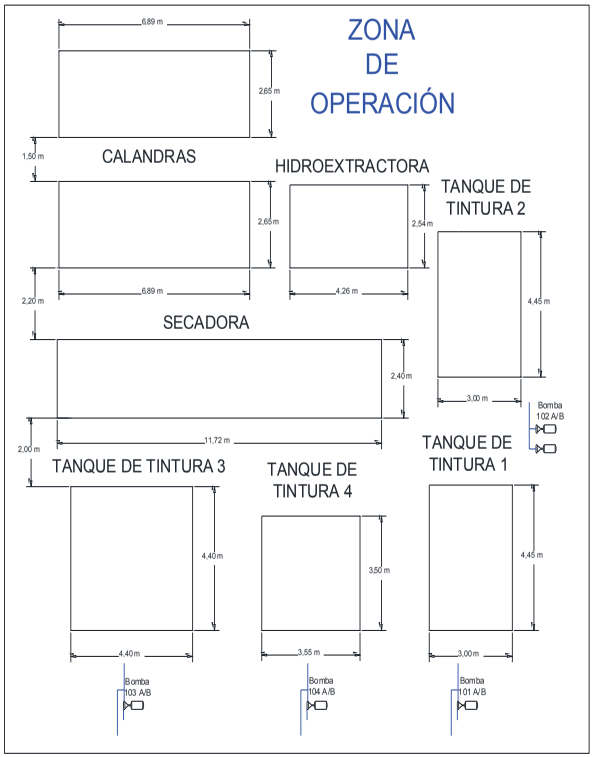


Figura 4.14. Layout zona de operación y caldero



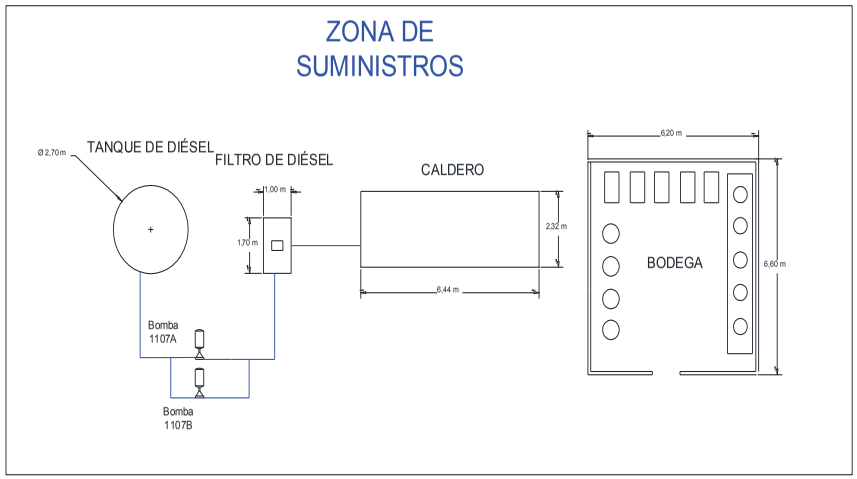


Figura 4.15. Layout Zona de operación, equipos y suministros

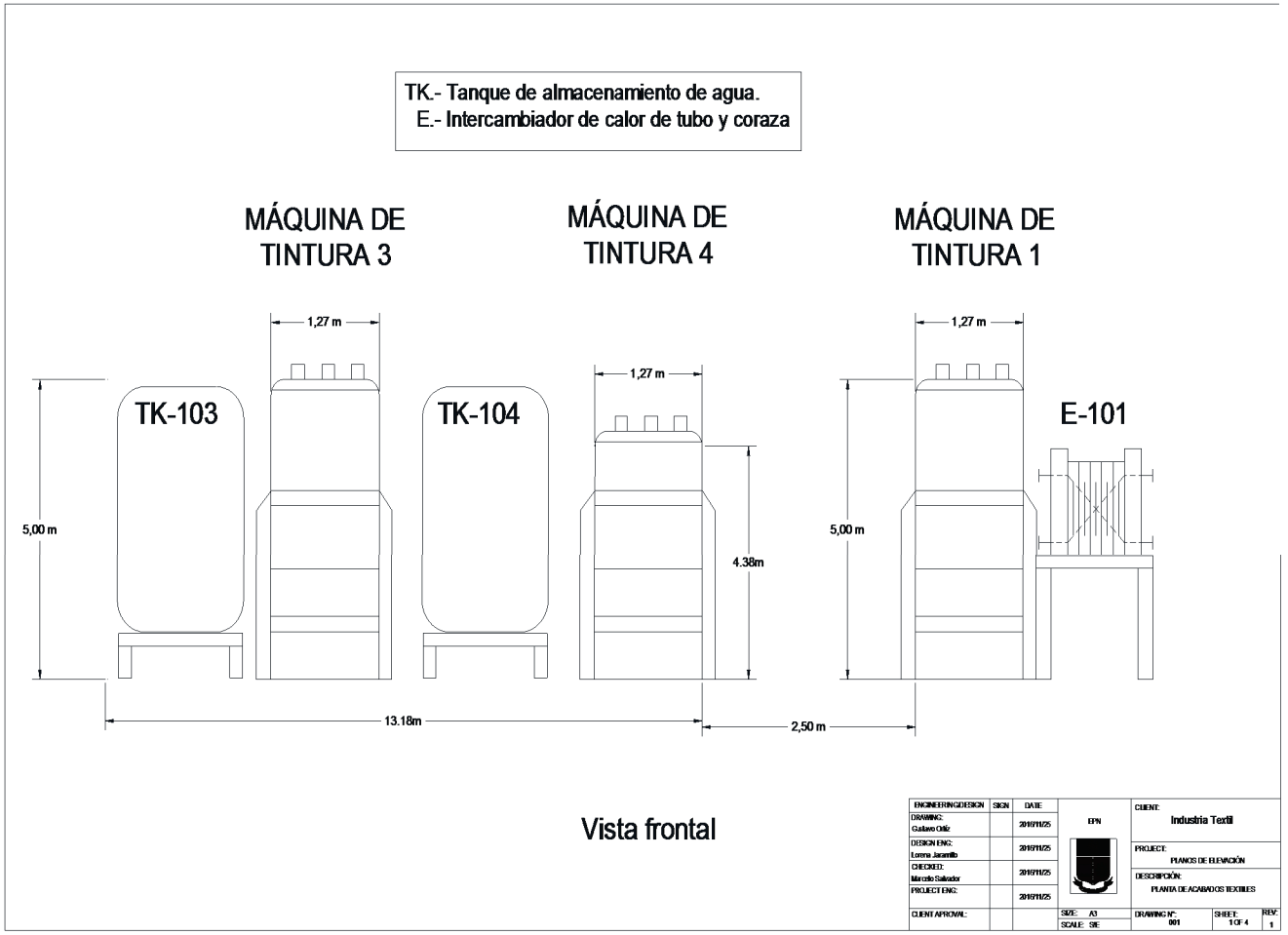


Figura 4.16. Vista frontal de zona de operación

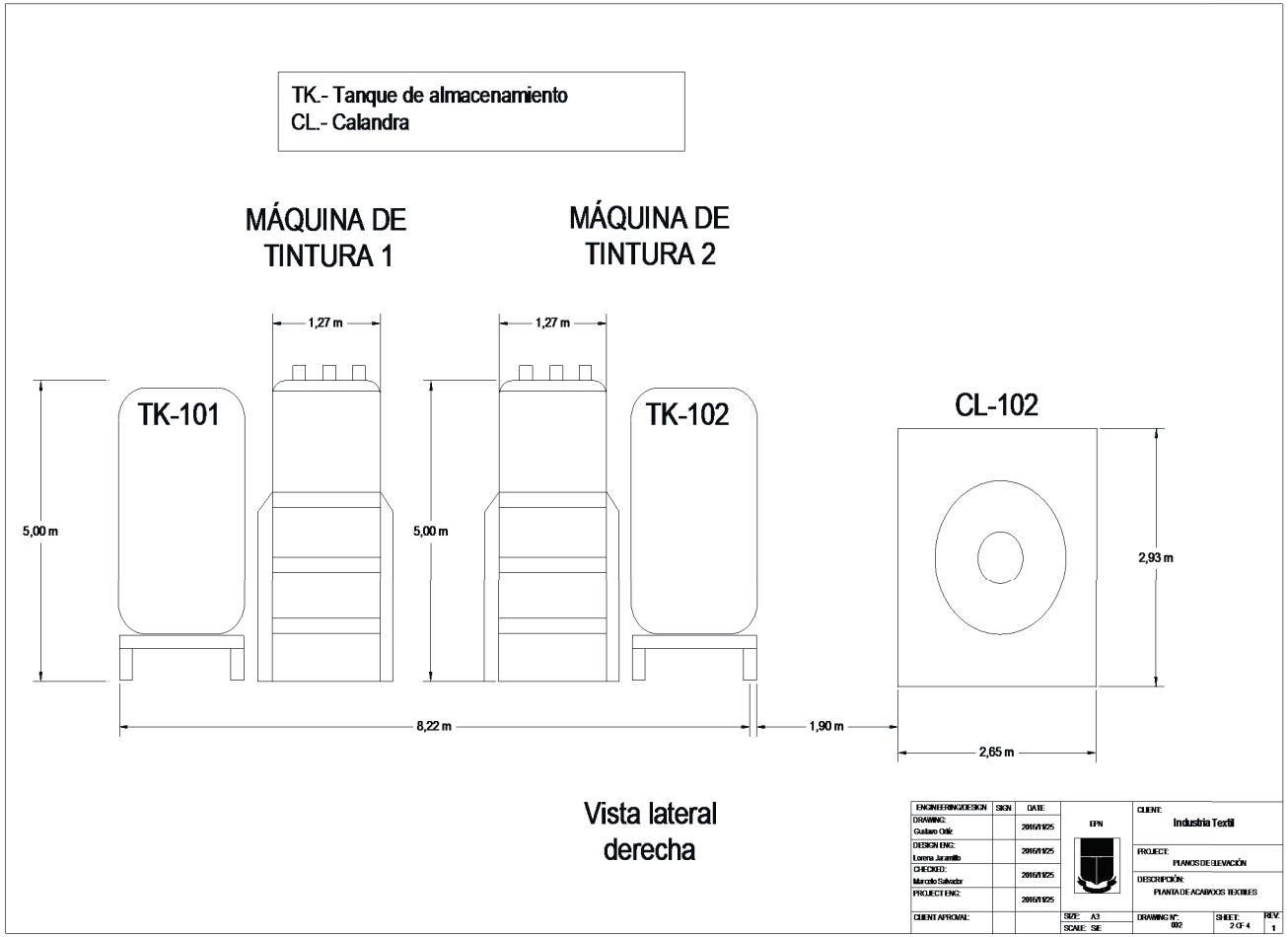


Figura 4.17. Vista lateral derecha de la zona de operación

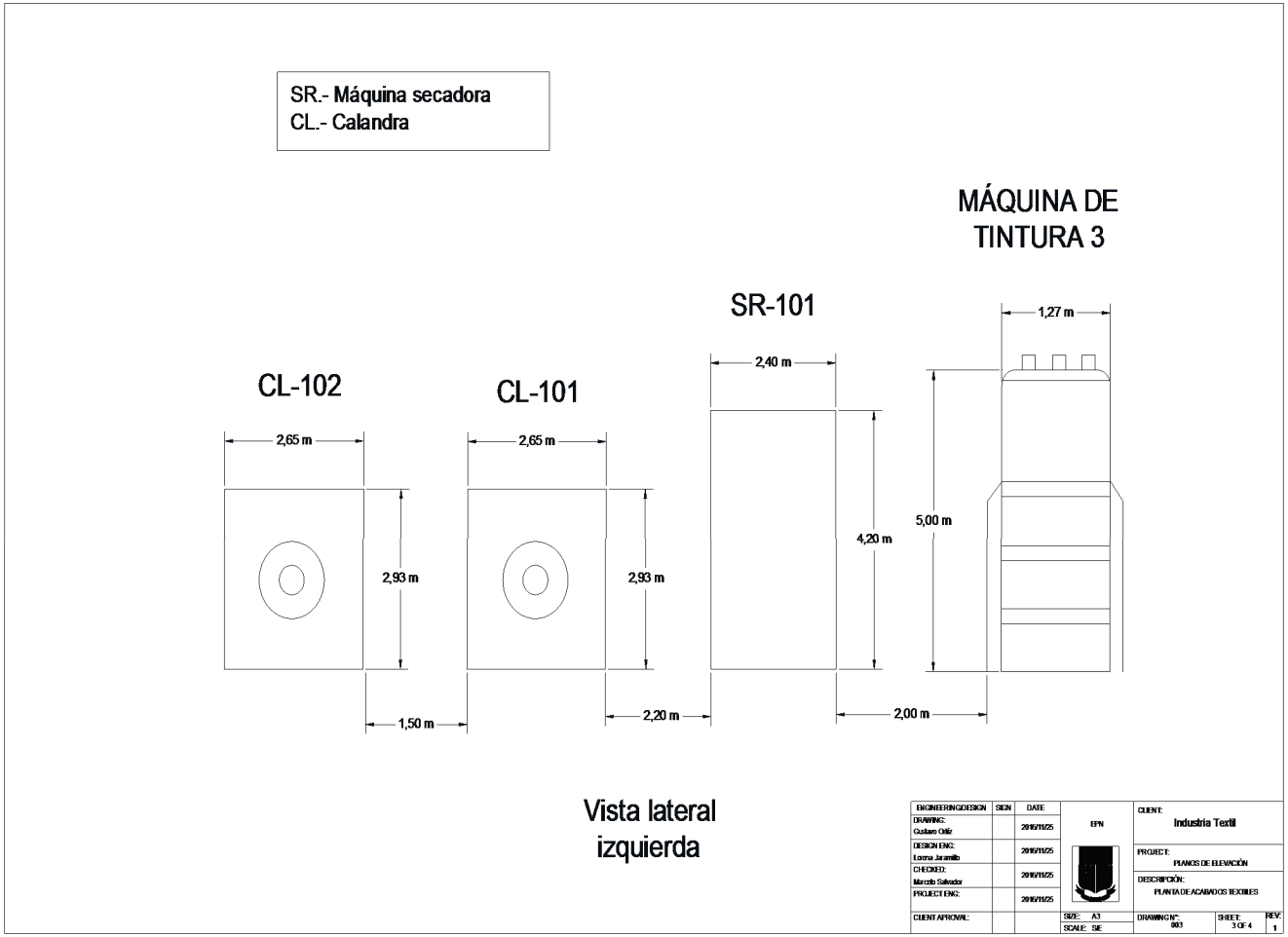


Figura 4.18. Vista lateral izquierda de la zona de operación

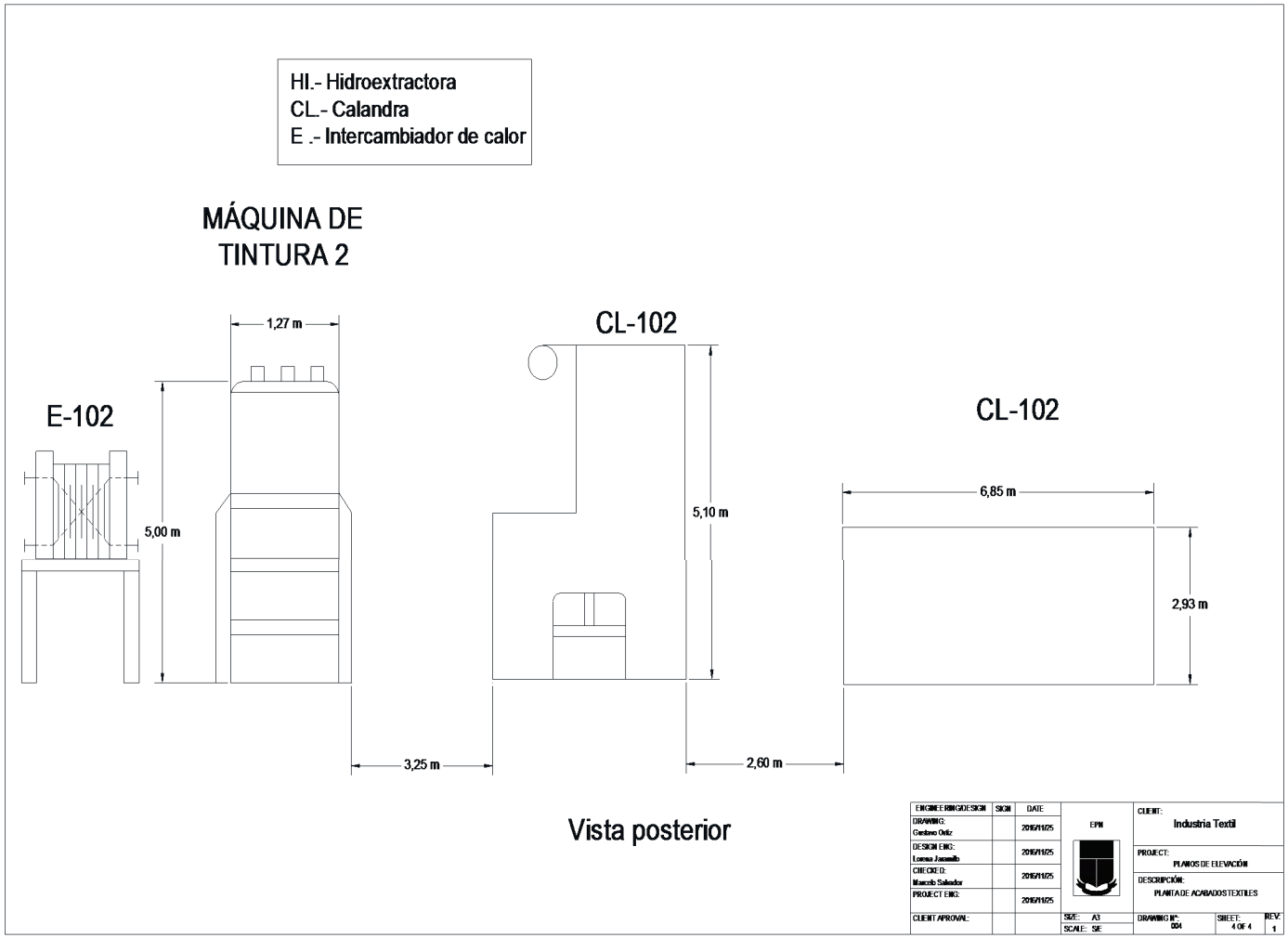


Figura 4.19. Vista posterior de la zona de operación

4.6 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 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).

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.

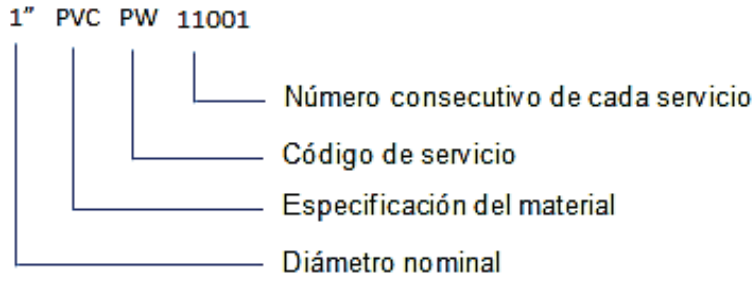


Figura 4.20. Codificación de tuberías en un diagrama P&ID

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.

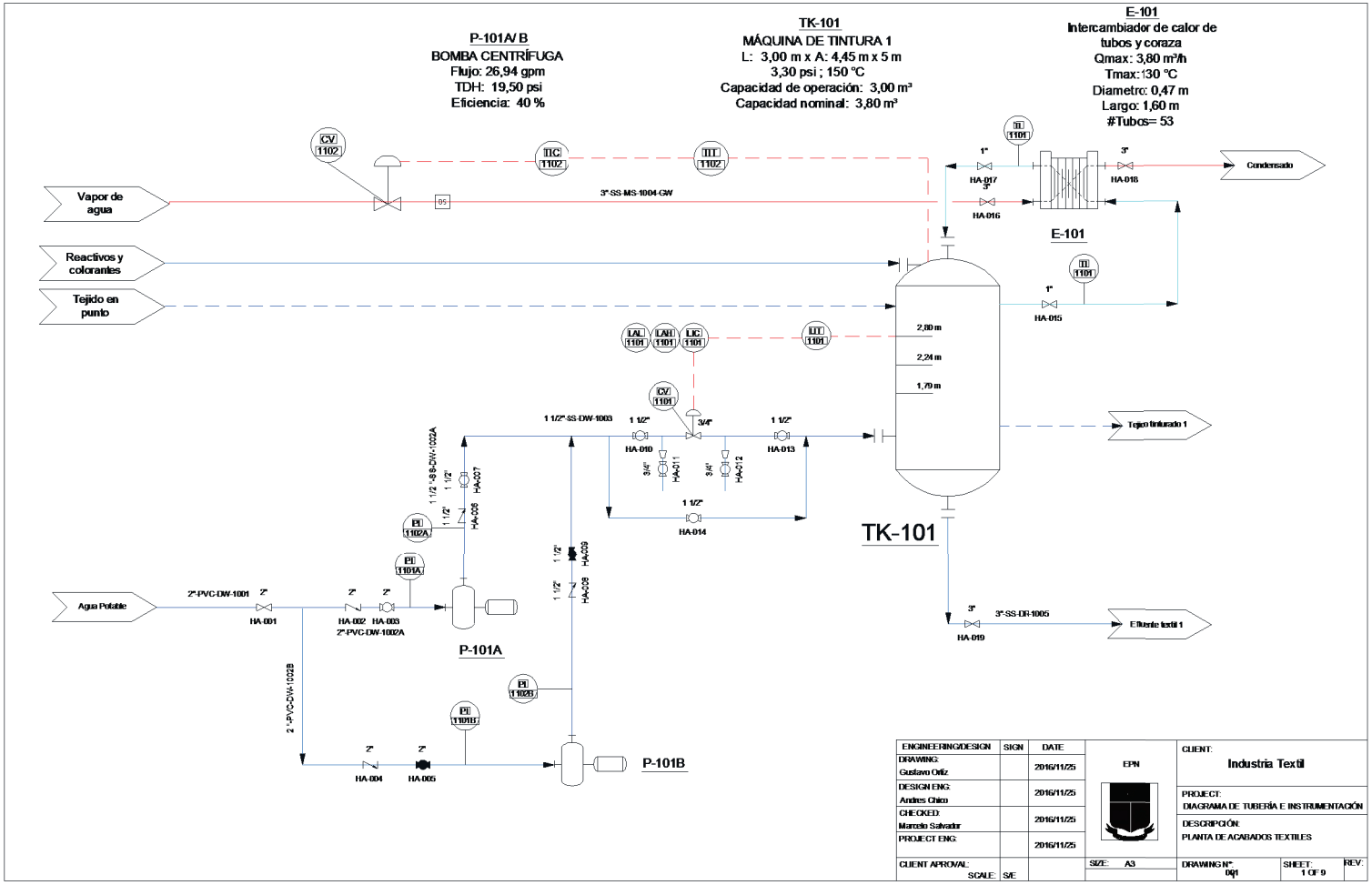


Figura 4.21. P&ID sección tinturación parte 1

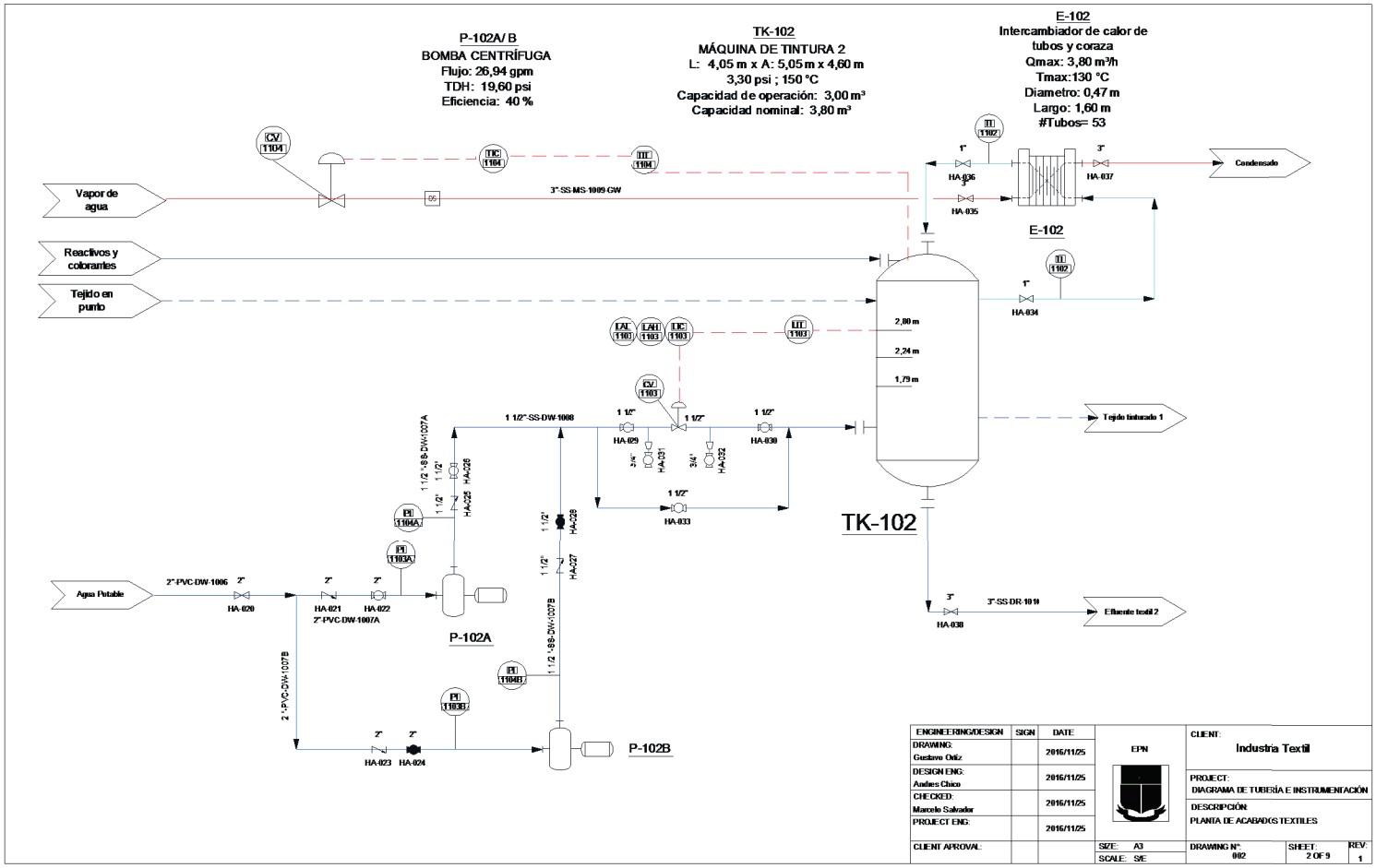


Figura 4.22. P&ID sección tinturación parte 2

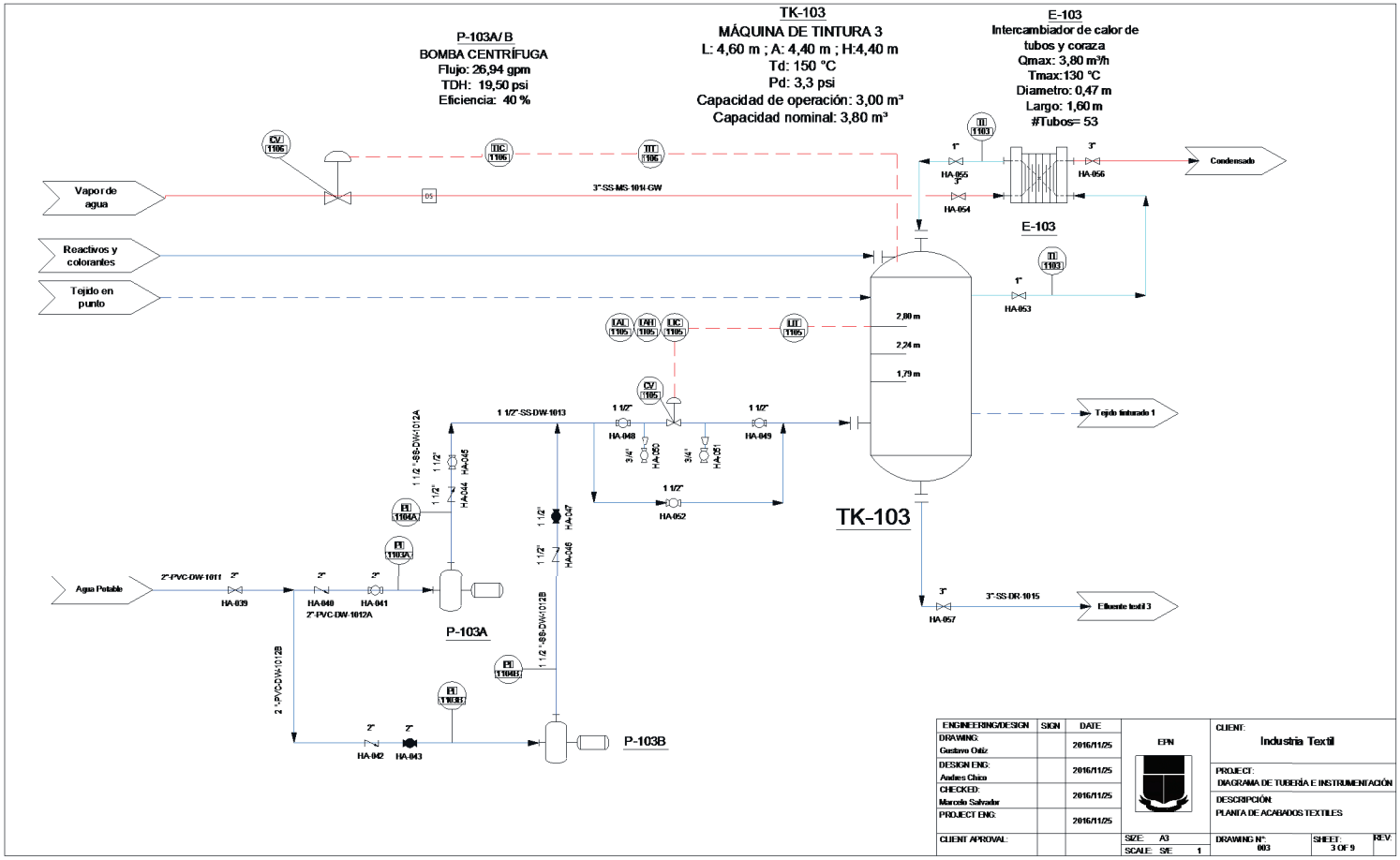


Figura 4.23. P&ID sección tinturación parte 3

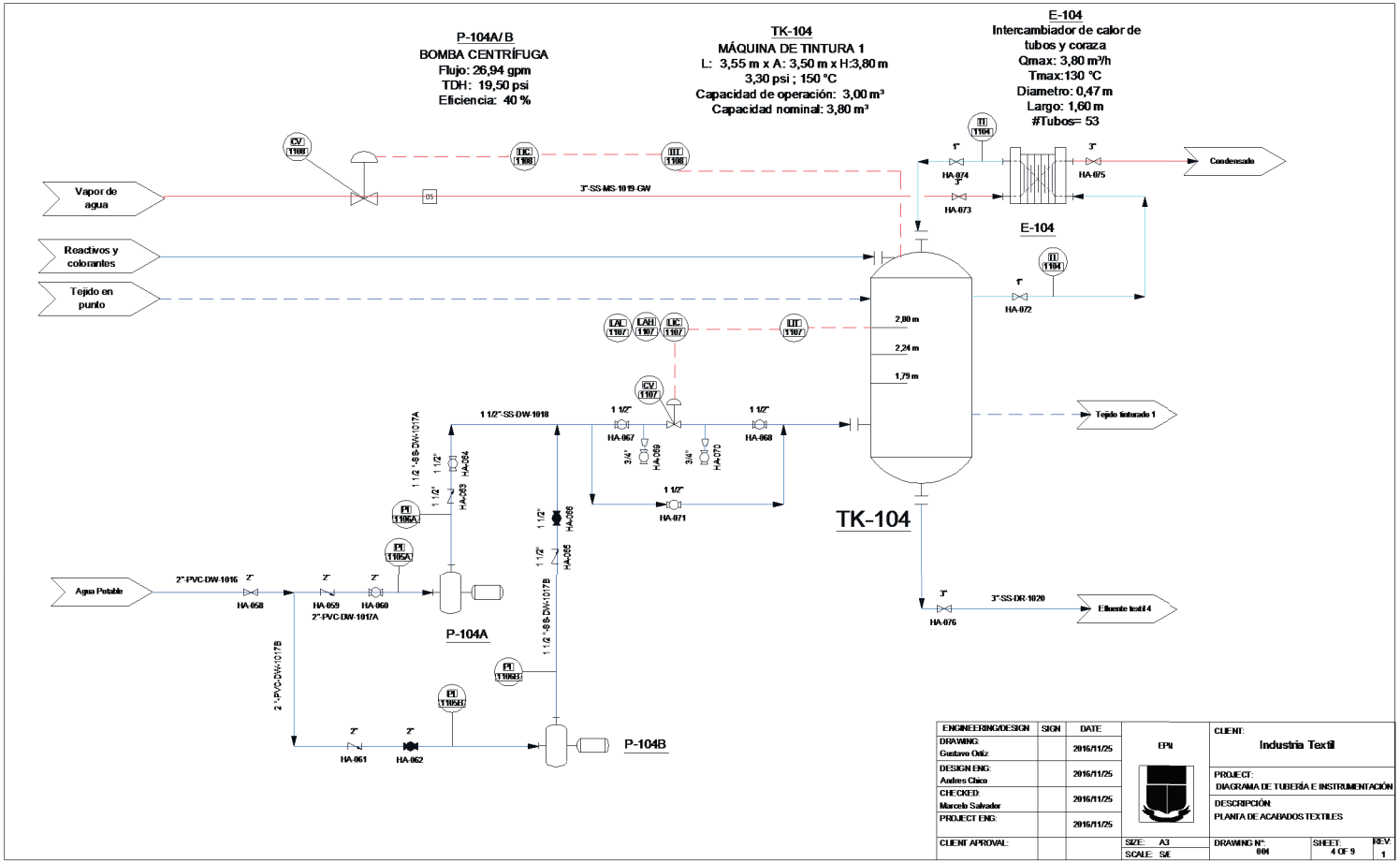


Figura 4.24. P&ID sección tinturación parte 4

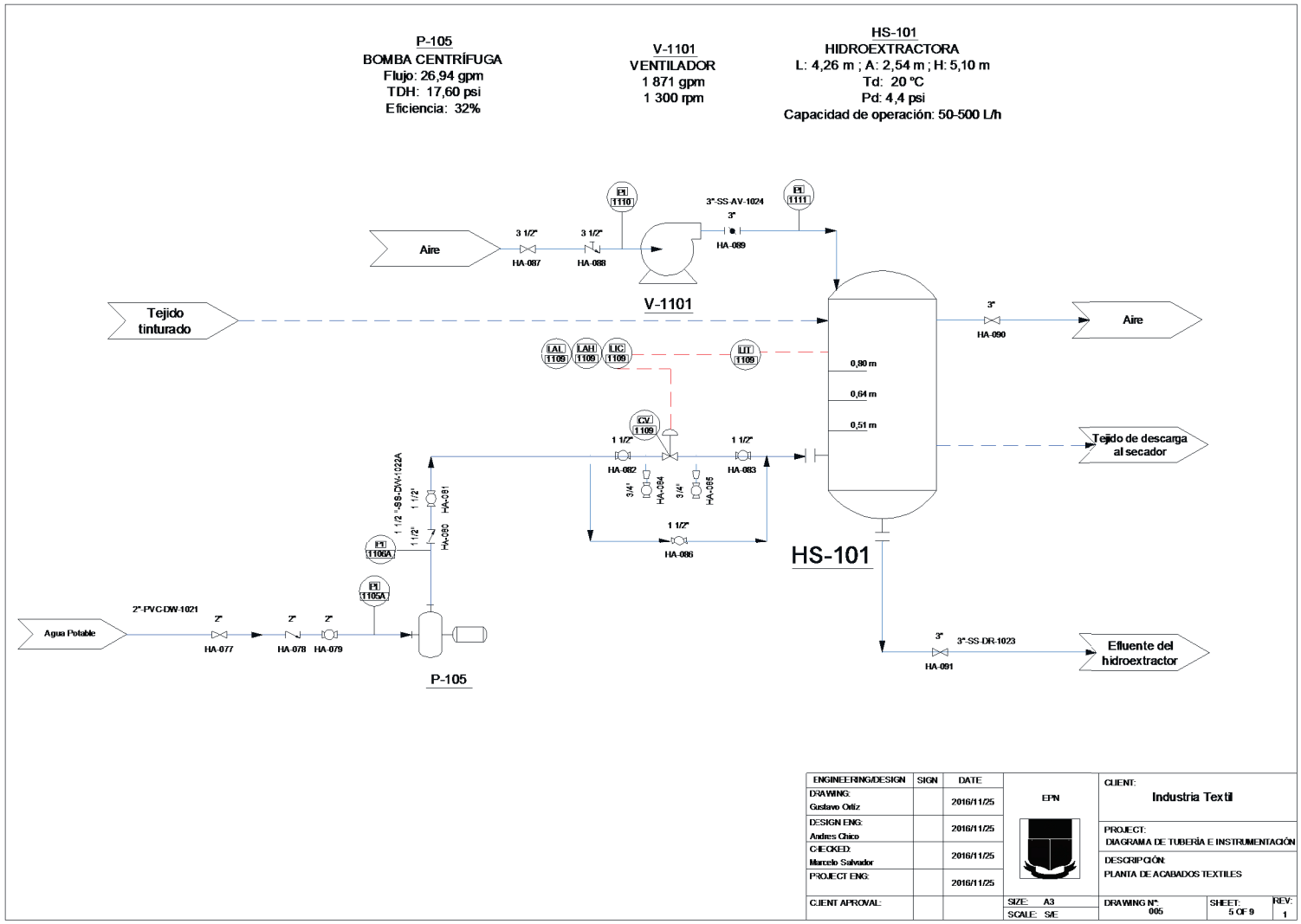


Figura 4.25. P&ID hidroextractor

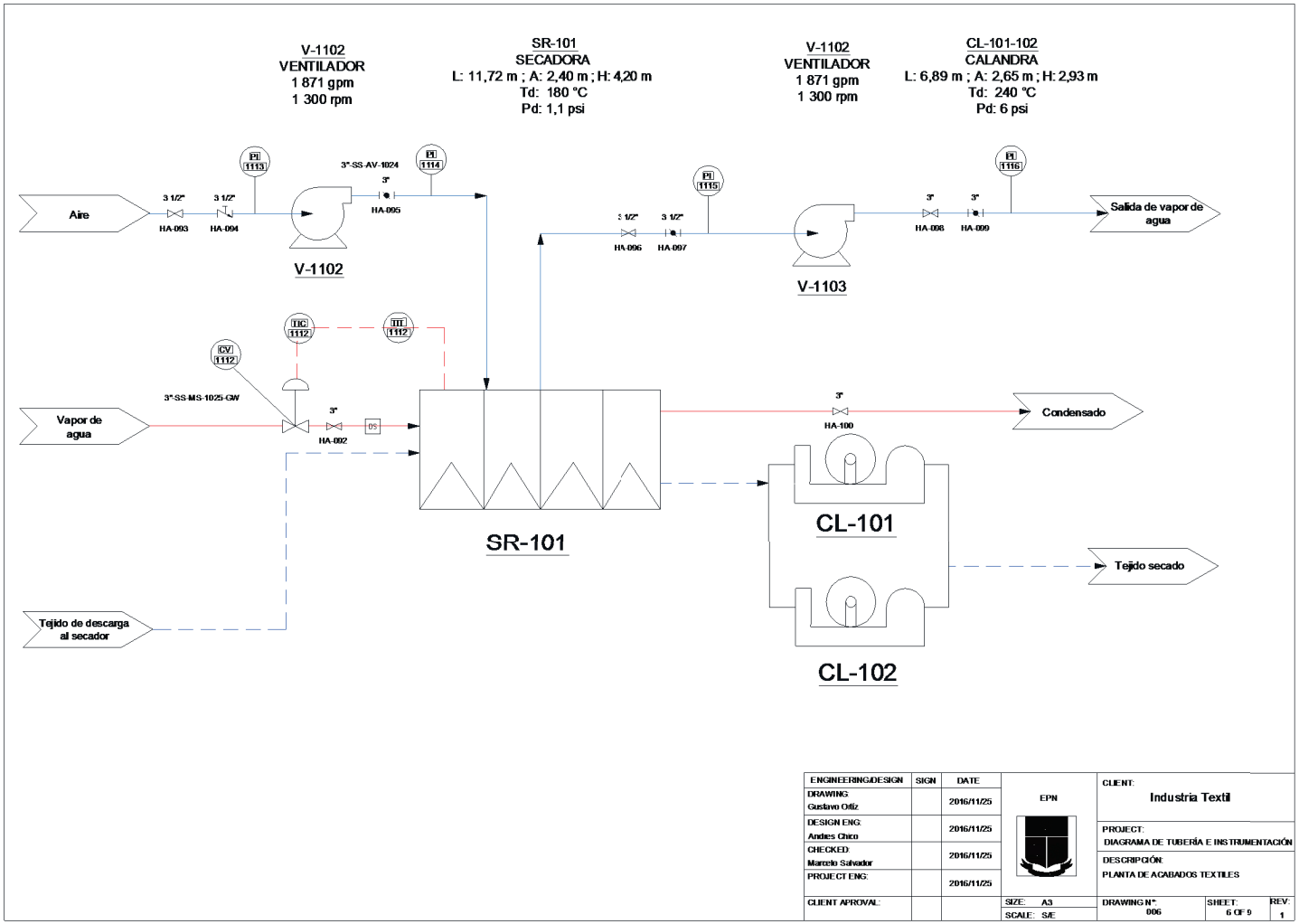


Figura 4.26. P&ID sección secadora y calandras

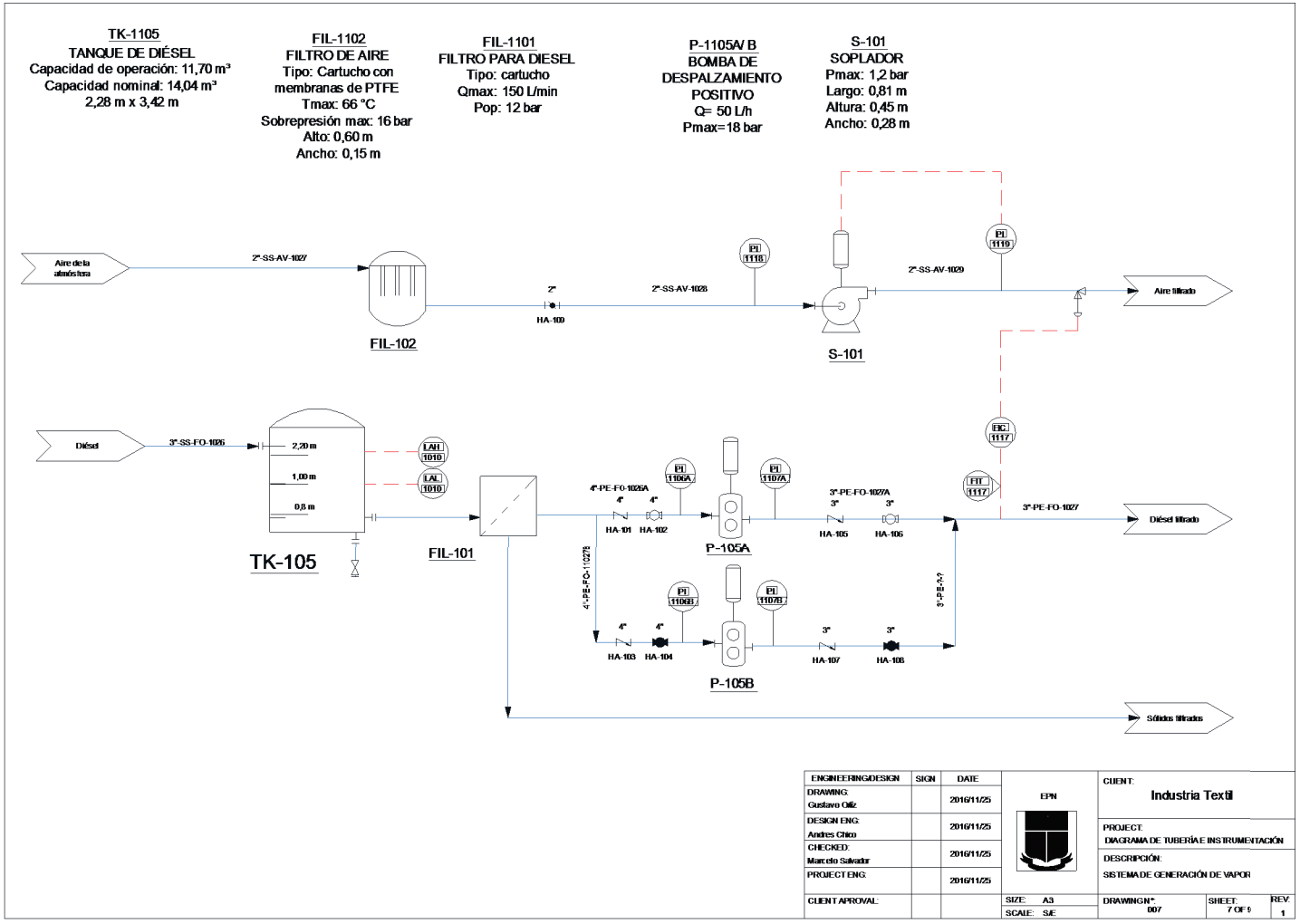


Figura 4.27. P&ID sección caldero parte 1

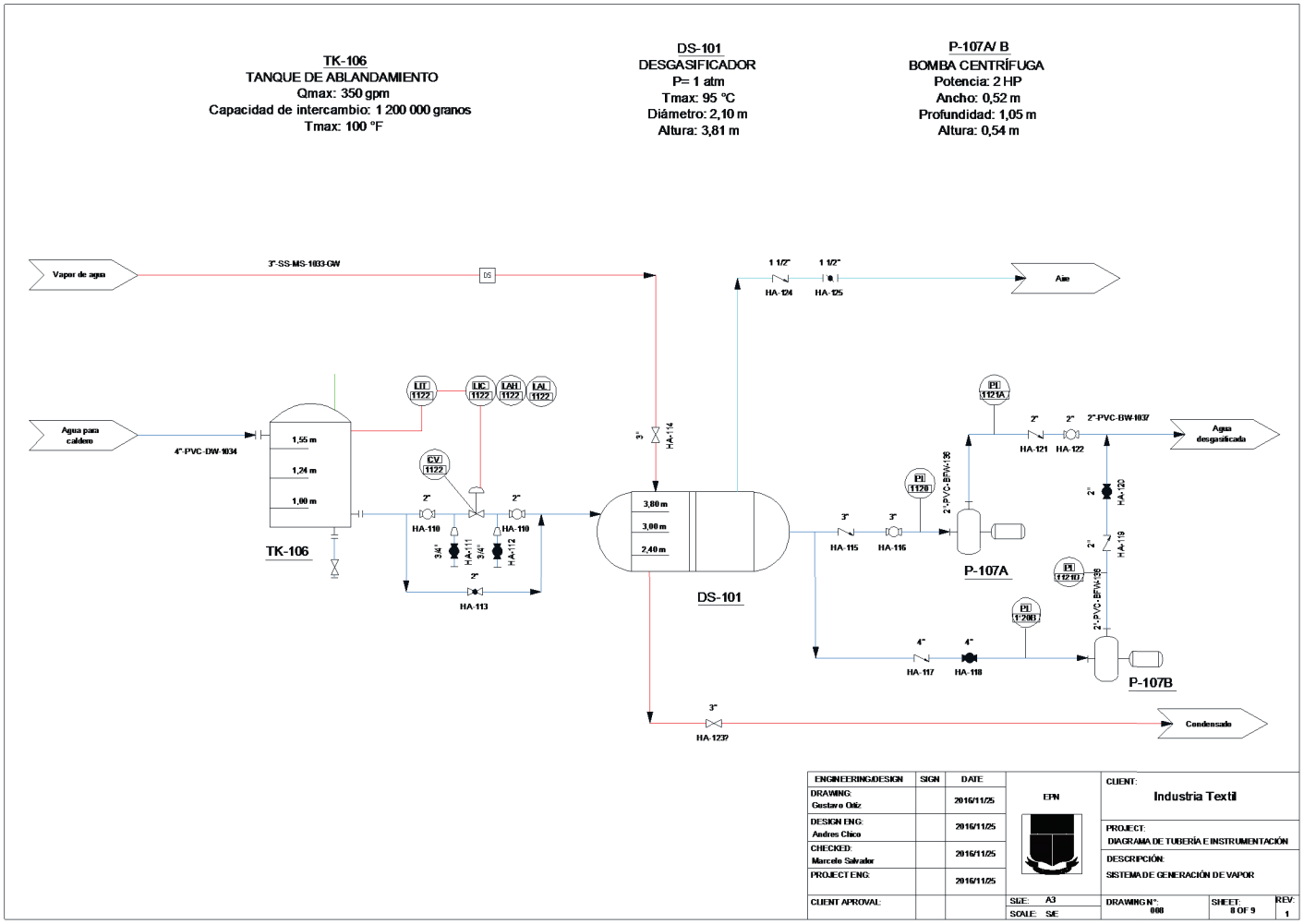


Figura 4.28. P&ID sección caldero parte 2

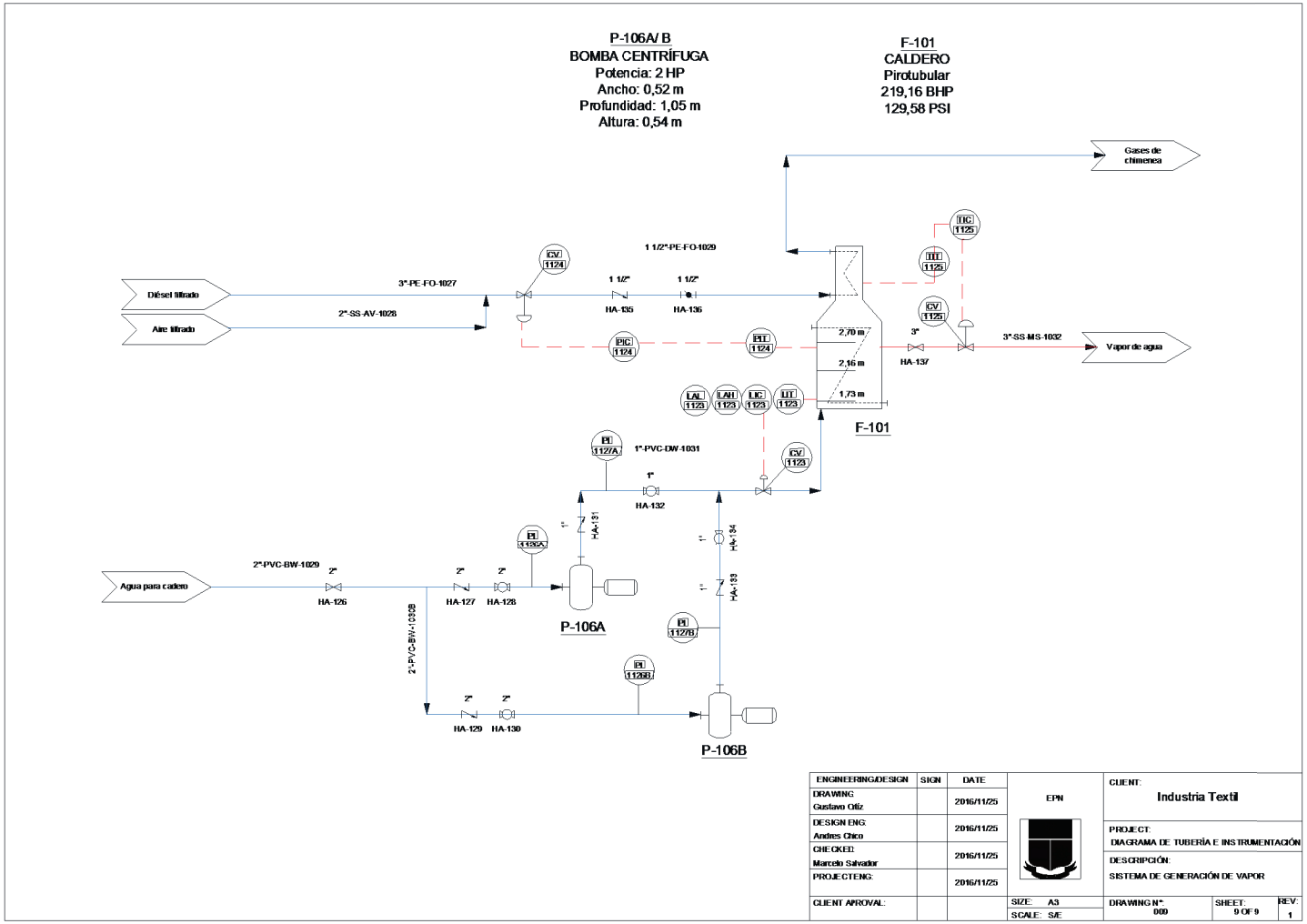


Figura 4.29. P&ID sección caldero parte 3

4.7 DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS PROPUESTOS

4.7.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS PROPUESTOS

En la Tabla 4.7 se indican las principales características que deben poseer los equipos de tinturación *Overflow*, el dimensionamiento de cada equipo está basado en los cálculos realizados en el Anexo I, considerando un equipo de tinturación de gran capacidad y 3 equipos de mediana capacidad con respecto al primer equipo, esta consideración fue tomada en caso de que la demanda de tela del mercado baje.

Tabla 4.7. Especificación de los equipos de tinturación *Overflow*

Equipo	Velocidad de giro (m/min)	Material	Capacidad de carga máxima (kg)	Volumen de operación (L)
Fong's	200	Acero Inoxidable 316	440	2 600
Thies	200	Acero Inoxidable 316	280	2 000
Devrekha	200	Acero Inoxidable 316	330	2 000
Tecninox	200	Acero Inoxidable 316	150	2 000

Mientras en la Tabla 4.8 se puede apreciar las características de diseño de los tanques de almacenamiento que se utilizarán en la planta, las dimensiones de los tanques son obtenidos del Anexo III y el Anexo IV.

En la Tabla 4.9 se puede apreciar las dimensiones y características de las tuberías que se utilizarán en la planta, para el uso de vapor se tomó como referencia la Tabla 3.16, tal como se especifica en el Anexo IV, dichos valores de diámetro nominal se encuentran incorporados también en los diagramas P&ID

Tabla 4.8. Dimensiones de los tanques de almacenamiento y la cisterna

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	**PLANTA DE ACABADOS TEXTILES SOBRE TEJIDO EN PUNTO TUBULAR DE POLI-ALGODÓN** **TANQUES**								Documento			
									LE-1			
									Elaborado por:		Gustavo Ortiz	
									Revisado por:		Ing. Marcelo Salvador	
									Revisión:		1	
									Fecha:		9/11/2016	
Etiqueta	**Servicio**	**Capacidad (gal)**		**Capacidad (m^3)**		**Dimensiones (m)**			**Tipo de tapa**	**Estado**	**P&ID**	**Material**
		Nominal	**Operación**	**Nominal**	**Operación**	**Largo**	**Ancho**	**Altura**				
-	Cisterna	34 126,98	30 470,89	129,00	115,18	4,00	5,55	5,80	Plana	N	1	Concreto
		Capacidad (gal)		**Capacidad (m^3)**		**Dimensiones (m)**						
		Nominal	**Operación**	**Nominal**	**Operación**	**Diámetro**	**-**	**Altura**				
TK	Tanques de equipos *Overflow*	859,78	687,83	3,25	2,60	1,22	-	2,79	Cerrada	N	1	Acero inoxidable 316
TK	Tanque de Diesel	4 783,68	3 986,40	18,08	15,06	2,48	-	3,74	Torriesférica	N	8	Acero inoxidable 316

Tabla 4.9. Líneas de tuberías y líneas de vapor

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	**PLANTA DE ACABADOS TEXTILES SOBRE TEJIDO EN PUNTO TUBULAR DE POLI-ALGODÓN** **LÍNEAS DE TUBERÍAS**	Documento	
		LE - 2	
		Elaborado por:	Gustavo Ortiz
		Revisado por:	Ing. Marcelo Salvador
		Revisión:	01
		Fecha:	9/11/2016

Diam. (pulg)	**Número de línea**				**De:**	**A:**	**Operación**		**Diseño**		**SCH**	**Material**
	Serv.	**EQUIP**	**ESPEC**	**P&ID**			**P (psig)**	**T (°C)**	**P (psig)**	**T (°C)**		
2 ½	DW	TK-101	PVC	1	Cisterna	Tintorería máquina Fong's	17,64	20	19,40	25	40	Sin aislante
2 ½	DW	TK-102	PVC	2	Cisterna	Tintorería máquina Thies	17,64	20	19,40	25	40	Sin aislante
2 ½	DW	TK-103	PVC	3	Cisterna	Tintorería máquina Devrekha	17,64	20	19,40	25	40	Sin aislante
2 ½	DW	TK-104	PVC	4	Cisterna	Tintorería máquina Tecninox	17,64	20	19,40	25	40	Sin aislante
2 ½	DW	HS-101	PVC	5	Cisterna	Hidroextractora	17,64	20	19,40	25	40	Sin aislante
3	MS	SG-111	SS-335	1-4	Caldero	Máquinas tintoreras	129,70	177	154,70	200	40	Con aislante
3	MS	SR-101	SS-335	6	Caldero	Secadora	129,70	177	154,70	200	40	Con aislante

*SS (Stainless Steel); DW (Agua de servicio); MS (Vapor de media)

Para el material aislante de las tuberías de vapor es necesario el uso de materiales que posean una baja conductividad térmica en situaciones de elevadas temperaturas, en la Tabla 4.10 se muestran materiales aislantes más utilizados para tuberías.

Tabla 4.10. Conductividad térmica de materiales aislantes

Material	Temperatura (K)	Conductividad térmica (W/m.K)
Lana de Vidrio	303,15 – 348,15	1,090
Parafina	303,15	0,069
Viruta de madera	303,15	0,059
Aislante con cemento	1 144,27	0,398
Asbesto	673,16	0,223

(Incropera, 2007, pp. 938-940)

Dependiendo del tipo de aislante utilizado en las tuberías se puede determinar el espesor del mismo, sin embargo utilizando como base la Tabla 3.16, se determina que para un diámetro nominal de tubería de 3'' su espesor mínimo es 1 ½'' con temperaturas entre 500 – 600 °F.

En la Tabla 4.11 se muestran las especificaciones de los principales equipos que están en la planta, muchos de estos datos fueron obtenidos mediante el balance de masa del Anexo I y obtenidos de las hojas de especificación de los equipos según las marcas ilustradas en las Tablas 4.16 a 4.27.

Tabla 4.11. Descripción de los principales equipos de la planta

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	**PLANTA DE ACABADOS TEXTILES SOBRE TEJIDO EN PUNTO TUBULAR DE POLI-ALGODÓN** **EQUIPOS**							Documento	
								LE-3	
								Elaborado por:	Gustavo Ortiz
								Revisado por:	Ing. Marcelo Salvador
								Revisión:	01
								Fecha:	9/11/2016
ETIQUETA	**P&ID**	**Equipo**	**ESPEC.**	**Capacidad de diseño (kg)**	**Diseño**			**Material**	**Estado**
					Presión (psig)	**Potencia (kW)**	**Temperatura (°C)**		
TK-101	1	Fong's	SS-316	500	3,3	14,5	150	Acero inoxidable 316	N
TK-102	2	Thies	SS-316	400	3,3	15,5	150	Acero inoxidable 316	N
TK-103	3	Devrekha	SS-316	300	3,3	13,5	150	Acero inoxidable 316	N
TK-104	4	Tecninox	SS-316	300	3,3	12,0	150	Acero inoxidable 316	N
HS-101	5	Hidroextra-ctora	SS-316	180 (kg/h)	4,4	7,6	20	Acero inoxidable 316 Rodillos de caucho	N
SR-101	6	Secadora	SS-316	131 (kg/h)	1,1	15,0	180	Acero inoxidable 316 Banda con recubrimiento sintético	N
CL-101	6	Calandra	SS-316	150 (kg/h)	5,5	10,0	240	Acero inoxidable 316 Rodillos con recubrimiento sintético	N

Los intercambiadores de calor con cambio de fase son equipos que complementan tanto a los equipos de tinturación *Overflow* como a la secadora, por lo cual en la Tabla 4.12 se detallan las principales características que deben cumplir los intercambiadores y que fueron obtenidos mediante los cálculos establecidos en el Anexo II.

Tabla 4.12. Especificación de los intercambiadores de calor con cambio de fase

Característica	**Equipo**	
	Tinturadoras	Secadora
Paso por la coraza-tubos	1 - 2	1 - 1
Fluido por los tubos	Agua	Aire
Arreglo de los tubos	Cuadro	Cuadro
Paso de los tubos centro-centro (in)	2,10	1,35
Número de tubos	48	52
Tamaño nominal del tubo (in)	1/2	1/4
Diámetro externo del tubo	0,84	0,54
SCH	40	40
Material del tubo	SS-316	SS-316
Longitud del intercambiador (m)	1,60	1,40
Espacio entre deflectores (in)	4,69	2,98
Espesor de los deflectores (in)	2,69	2,86
Diámetro interno de la coraza (in)	17,49	11,54
Espesor de la coraza (in)	3/8	3/8
Área total de transferencia (m^2)	2,54	3,11
Resistencia al ensuciamiento (m^2.°C/W)	0,0002	0,0089

Tabla 4.13. Descripción de las bombas de los principales equipos

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	PLANTA DE ACABADOS TEXTILES SOBRE TEJIDO EN PUNTO TUBULAR DE POLI-ALGODÓN BOMBAS	Documento	
		Elaborado por:	Gustavo Ortiz
		Revisado por:	Ing. Marcelo Salvador
		Revisión:	01
		Fecha:	9/11/2016

ETIQUETA	P&ID	Servicio	Tipo	Diseño	Potencia		Diff. Cabeza		Capacidad	Material	Estado
				TDH (psig)	Operación (Hp)	Diseño (Hp)	Ps (psi)	Pd (psi)	GPM		
P-101A/B	1	Bomba de succión de agua máquina Fong's	Centrífuga	19,50	0,40	1,10	1,63	21,13	26,94	PVC	N
P-102A/B	2	Bomba de succión de agua máquina Thies	Centrífuga	19,60	0,40	1,10	1,53	21,13	26,94	PVC	N
P-103A/B	3	Bomba de succión de agua máquina Devrekha	Centrífuga	19,50	0,40	1,10	1,63	21,13	26,94	PVC	N
P-104A/B	4	Bomba de succión de agua máquina Tecninox	Centrífuga	19,50	0,40	1,10	1,63	21,13	26,94	PVC	N
P-105	5	Bomba de succión de la hidroextractora	Centrífuga	19,60	0,40	1,10	1,53	21,13	26,94	PVC	N

Entre los principales sistemas auxiliares se encuentra el sistema de generación de vapor, en este caso un caldero. En la Tabla 4.1 se puede apreciar el requerimiento de vapor para cada proceso, debido a que las máquinas de tinturación trabajan con un proceso a la vez y mediante el análisis del balance de energía obtenido en el Anexo II se puede determinar que el caldero debe suministrar una cantidad de vapor de 4 918,09 kg/h, con lo cual se procede a determinar sus especificaciones en la Tabla 4.14, con base en los cálculos del Anexo II junto con las especificaciones del equipo que se obtiene mediante catálogo.

Tabla 4.14. Características del sistema de generación de vapor

Característica	**Valor**
BHP	219,16
Presión de operación (psi)	129,70
Tipo de caldero	Pirotubular
Tipo de espalda	Húmeda
Paso por los tubos	3
Arreglo de los tubos	Triangular
Tipo de combustible	Diésel
Temperatura de combustión (°C)	1 836,00
Exceso de aire (%)	12
Temperatura de gases de combustión (°C)	353,46
Longitud del Caldero (m)	6,44

Para el diseño de la hidroextractora y de la calandra se consideró un sistema de rodillos para ambos casos, en el primero es un sistema de rodillos simples, mientras que en la calandra es un sistema de rodillos combinados de 3, se calculó la fuerza que ejercen los rodillos y la potencia de los mismo para así encontrar un equipo en catalogo que se ajuste a los parámetros deseados, esto se aprecia en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15. Especificación de los rodillos para la hidroextractora y calandra

Característica	Equipo	
	Hidroextractora	Calandra
Ancho de los rodillos (cm)	200,0	2 300,0
Presión (bar)	4,5	6,0
Apertura de los rodillos centro-centro (cm)	45,06	55,06
Sistema de rodillos	Simples en vertical	Combinado 3
Diámetro de los rodillos (cm)	45	55
Velocidad de los rodillos (m/min)	7,0	5,3
Material del rodillo	Acero al carbón	Acero comercial
Material del recubrimiento	Caucho	Tela encauchada y siliconada
Temperatura de operación (°C)	---	200 °C

4.7.2 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS PROPUESTOS

Las especificaciones de los equipos muestran la información de los equipos según los requerimientos del proyecto, datos como las dimensiones, material de construcción, parámetros de operación de los equipos así como el esquema del equipo según las marcas comerciales.

Los equipos principales y secundarios fueron seleccionados de catálogo en base a los balances de masa y energía, estos equipos satisfacen los requerimientos de operación de la planta.

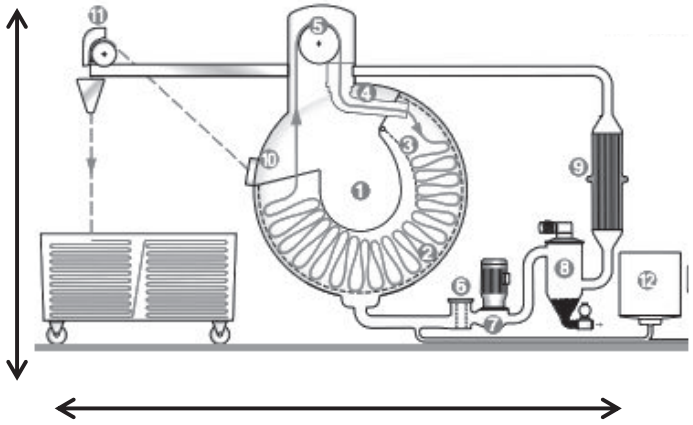
Dentro de los equipos auxiliares se seleccionaron las bombas del tipo centrifugas por tratarse de transporte de agua, un caldero, válvulas del tipo bola y check. Las válvulas del tipo check regulan el flujo de agua en las tuberías, mientras que las válvulas de tipo bola se usan como sistemas de seguridad para la protección de las válvulas check. Adicionalmente se requerirán dos líneas de flujo, una principal

y una secundaria que estará cerrada y solo se abrirá en caso de que la línea principal sufra un daño o se encuentre en mantenimiento, la línea secundaria debe poseer los mismos equipos auxiliares que la línea primaria.

A partir de la Tabla 4.16 hasta la Tabla 4.27 se indican las hojas de especificaciones de los equipos propuestos para el diseño de la planta de acabados textiles.

Tabla 4.16. Hoja de especificación del equipo de tinturación 1

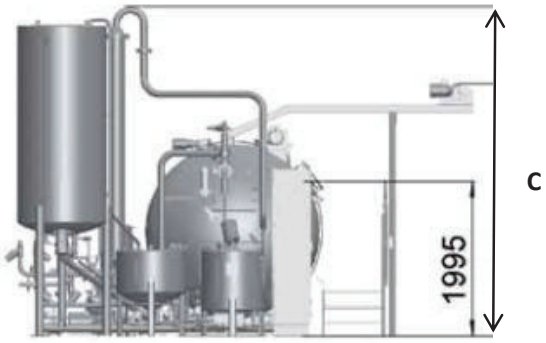
<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°1</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Máquina de tinturación</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
FONG'S</td><td>Modelo:
Meditec 2 – 2T</td><td>Material de construcción: Acero inoxidable AISI 316
Etiqueta de la planta: TK-101</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 3 000 mm
Ancho: 4 450 mm
Alto: 5 000 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Máxima capacidad de carga: 500,0 kg
Capacidad de instalación 24,0 kW
Capacidad de operación: 14,5 kW
Número de cámaras: 2,0
Gradiente de temperatura: 2,5 °C
Presión de operación: 3,0 bar
Temperatura de operación: 140,0 °C</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: El agua ingresa a la tinturadora la cual incrementa la temperatura por medio del intercambiador de calor, los colorantes y los auxiliares ingresan por medio del tanque de mezcla para dirigirse hacia el equipo autoclave donde la tela gira una y otra vez en un tiempo determinado por el operador hasta que finaliza el proceso para posteriormente colocar la tela en bandejas.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Batch</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

5 000 mm
 
Vista lateral
4 450 mm

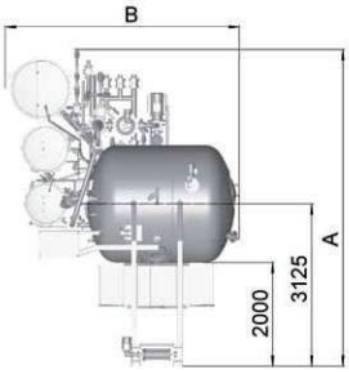
1.- Equipo autoclave
2.- Tela procesada
3.- Canal de circulación de la tela
4.- Canal Overflow
5.- Rodillo
6.- Válvula
7.- Bomba
8.- Filtro de malla
9.- Intercambiador
10.- Ventanilla
11.- Rodillos</td></tr>
</table>

Tabla 4.17. Hoja de especificación del equipo de tinturación 2

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°2</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Máquina de tinturación</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
THIES</td><td>Modelo:
iMaster F</td><td>Material de construcción: Acero inoxidable AISI 316
Etiqueta de la planta: TK-102</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 4 050 mm
Ancho: 5 750 mm
Alto: 4 600 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Máxima capacidad de carga: 300,0 kg
Capacidad de instalación 25,0 kW
Capacidad de operación: 15,5 kW
Número de cámaras: 2,0
Gradiente de temperatura: 1,5-3,0 °C
Presión de operación: 3,0 bar
Temperatura de operación: 140,0 °C
Velocidad de circulación: 25,0 - 250,0 m/min</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: El agua ingresa a la tinturadora la cual incrementa la temperatura por medio del intercambiador de calor, los colorantes y los auxiliares ingresan por medio del tanque de mezcla para dirigirse hacia el equipo autoclave donde la tela gira una y otra vez en un tiempo determinado por el operador hasta que finaliza el proceso para posteriormente colocar la tela en bandejas.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Batch</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

Vista lateral
 

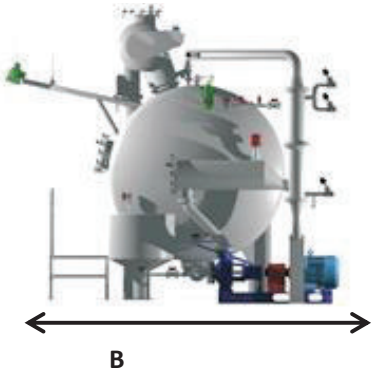
C: 4 600 mm

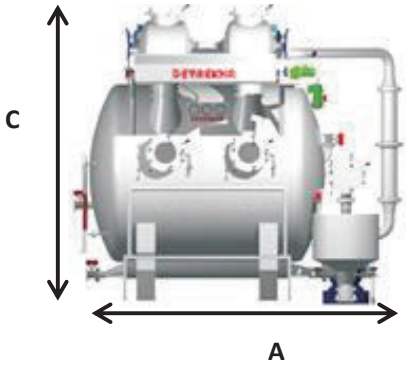
Vista Superior
 

A: 5 750 mm
B: 4 050 mm</td></tr>
</table>

Tabla 4.18. Hoja de especificación del equipo de tinturación 3

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°3</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Máquina de tinturación</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
DEVREKHA</td><td>Modelo:
Terry Towel</td><td>Material de construcción: Acero inoxidable AISI 316
Etiqueta de la planta: TK-103</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 4 600 mm
Ancho: 4 400 mm
Alto: 4 400 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Máxima capacidad de carga: 400,0 kg
Capacidad de instalación: 24,0 kW
Capacidad de operación: 13,5 kW
Número de cámaras: 2,0
Gradiente de temperatura: 3,0 °C
Presión de operación: 3,0 bar
Temperatura de operación: 140,0 °C
Velocidad de circulación: 50,0-400,0 m/min</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: El agua ingresa a la tinturadora la cual incrementa la temperatura por medio del intercambiador de calor, los colorantes y los auxiliares ingresan por medio del tanque de mezcla van hacia el equipo autoclave donde la tela gira una y otra vez en un tiempo determinado por el operador hasta que finaliza el proceso para posteriormente colocar la tela en bandejas.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Batch</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

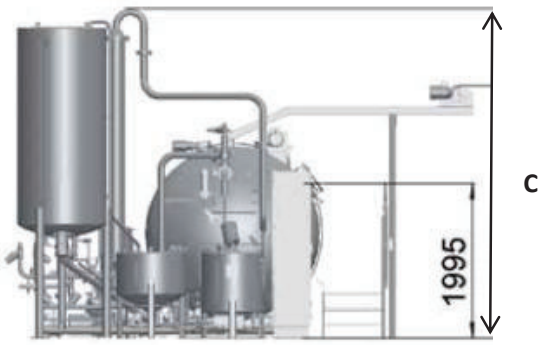
Vista lateral
 
B

Vista Frontal
 
C
A

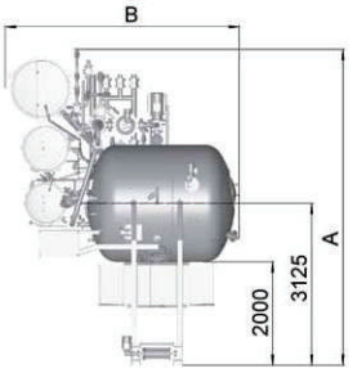
B: 4 600 mm
A: 4 400 mm
C: 4 400 mm</td></tr>
</table>

Tabla 4.19. Hoja de especificación del equipo de tinturación 4

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°4</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Máquina de tinturación</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
TECNINOX</td><td>Modelo:
MF2-JHT</td><td>Material de construcción: Acero inoxidable AISI 316
Etiqueta de la planta: TK-104</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 3 550 mm
Ancho: 3 500 mm
Alto: 3 800 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Máxima capacidad de carga: 300,0 kg
Capacidad de instalación 20,0 kW
Capacidad de operación: 12,0 kW
Número de cámaras: 2,0
Gradiente de temperatura: 1,5-3,0 °C
Presión de operación: 3,0 bar
Temperatura de operación: 140,0 °C
Velocidad de circulación: hasta 300,0 m/min</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: El agua ingresa a la tinturadora la cual incrementa la temperatura por medio del intercambiador de calor, los colorantes y los auxiliares ingresan por medio del tanque de mezcla para dirigirse hacia el equipo autoclave donde la tela gira una y otra vez en un tiempo determinado por el operador hasta que finaliza el proceso para posteriormente colocar la tela en bandejas.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Batch</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

Vista lateral
 

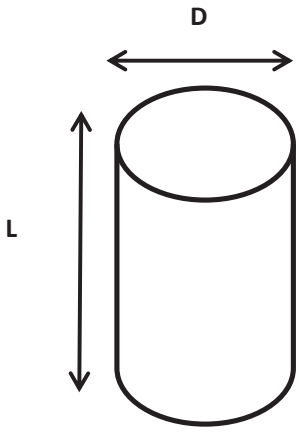
C: 4 600 mm

Vista Superior
 

A: 6 000 mm
B: 4 550 mm</td></tr>
</table>

Tabla 4.20. Hoja de especificación del tanque de almacenamiento

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°5</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Tanque de almacenamiento de agua</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
EQUAMEX</td><td>Modelo:
EQUAMEX</td><td>Material de construcción: Acero inoxidable AISI 316
Etiqueta de la planta: TK 101 – TK 104</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 3 000 mm
Diametro: 1 270 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Máxima capacidad: 3 800,0 L
Presión de operación: 1,1 bar
Temperatura de operación: 70,0 °C</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: Almacena el agua hasta el nivel deseado para enviarla hacia los autoclaves para el proceso de tinturación.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Batch</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

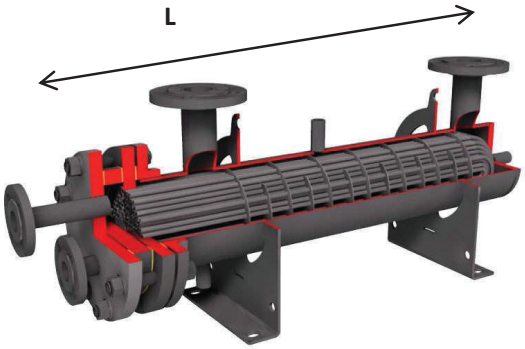
Vista
 

L: 3 000 mm
D: 1 270 mm

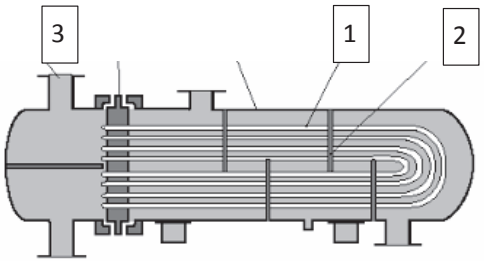
Imagen
 </td></tr>
</table>

Tabla 4.21. Hoja de especificación del intercambiador de calor

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°6</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Intercambiador con cambio de fase</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
KELVION</td><td>Modelo:
NF-32</td><td>Material de construcción: Acero al carbón
Etiqueta de la planta: E-101, E-102, E-103 y E-104</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 1 600 mm
Diametro: 1 270 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Número de pasos: 1-2
Presión de diseño: 10,0 bar
Temperatura de diseño: 140,0 °C
Material de los tubos: acero inoxidable AISI 316L</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: El vapor proveniente del caldero ingresa por la coraza mientras que el agua de la tinturadora ingresa por los tubos.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Continuo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

Vista lateral 3D
 

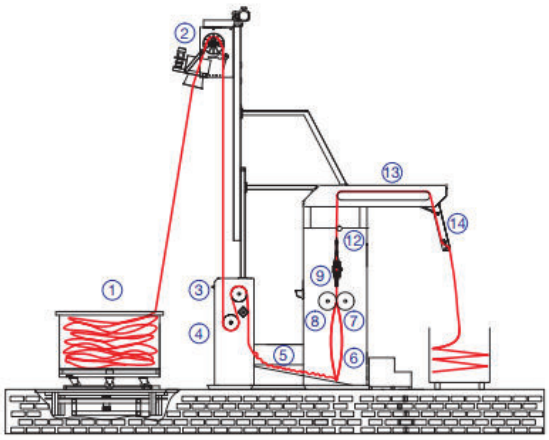
L: 1 600 mm

Vista interna
 

1.- Banco de tubos
2.- Deflectores
3.- Ingreso del fluido al banco de tubos</td></tr>
</table>

Tabla 4.22. Hoja de especificación del hidroextractor

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°7</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Hidroextractor</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
HELIOT</td><td>Modelo:
KNITHYDRO</td><td>Material de construcción: Acero inoxidable 316
Etiqueta de la planta: HS-101</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 4 260 mm
Alto: 5 100 mm
Ancho: 2 540 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Máxima velocidad de trabajo: 80,0 m/min
Presión de rodillos: 3,0-6,0 bar
Potencia de instalación: 7,6 kW
Consumo de agua: 50,0 – 500,0 L/h
Porcentaje de remoción de humedad: 75,0-80,0 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: La tela procesada ingresa por el sistema de movimiento hacia la bandeja de remojo y posteriormente pasa a los rodillos donde se exprime el exceso de agua.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Continuo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

Vista lateral
 

Imagen

1.- Bandeja de ingreso.
2, 3 y 4.- Sistema de movimiento de la tela
5.- Bandeja de remojo
6.- Compresor de aire
7,8.- Rodillos para exprimir
9.- Tubo direccionador
12.- Puerto de salida
13, 14.- Cinta transportadora y guía</td></tr>
</table>

Tabla 4.23. Hoja de especificación de la secadora

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°8</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Rama secadora</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
HELIOT</td><td>Modelo:
KNITDRY</td><td>Material de construcción: Acero al Carbón
Etiqueta de la planta: SR-101</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 11 720 mm
Alto: 4 200 mm
Ancho: 2 400 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Máxima velocidad de trabajo: 5,0-40,0 m/min
Número de cámaras: 3,0
Capacidad máxima: 850,0 kg/h
Temperatura de operación: 200,0 °C
Recubrimiento interno: acero inoxidable</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: La tela exprimida se lleva a la bandeja de ingreso donde una banda transporta mientras es secada con aire caliente.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Continuo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

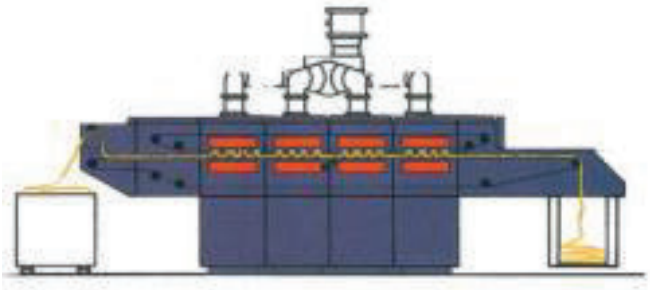
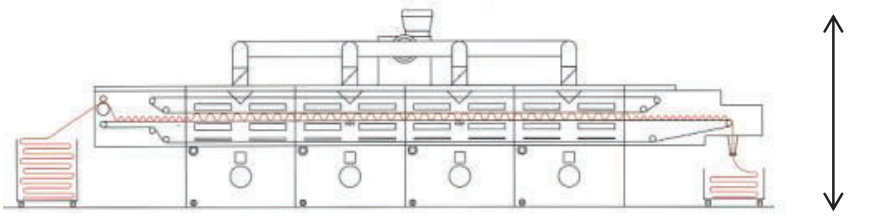
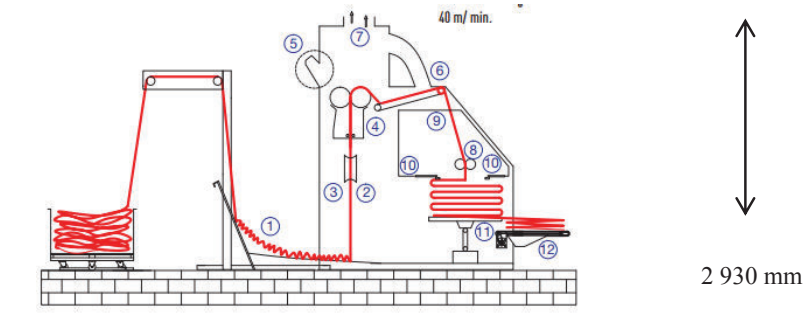
Vista lateral
 
11 720 mm
 
4 200 mm</td></tr>
</table>

Tabla 4.24. Hoja de especificación de las calandras

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°9</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Calandra</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
HELIOT</td><td>Modelo:
KNITCALENDER</td><td>Material de construcción: Acero inoxidable AISI 316
Etiqueta de la planta: CL-101 y CL-102</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 6 890 mm
Alto: 2 930 mm
Ancho: 3 000 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Máxima velocidad de carga: 40,0 m/min
Máxima velocidad de rodillos: 100,0 m/min
Temperatura de operación: hasta 240,0 °C
Recubrimiento de rodillos: fibra encauchadas y siliconadas
Poder de instalación: 5,5 kW</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: La tela seca es llevada a los sistemas de calandras donde se ajusta el ancho de la tela mediante el proceso de termofijación a una temperatura entre 180,0-200,0 °C con lo cual la tela pasa a ser enrollada y almacenada para su posterior análisis y venta.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Continuo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

Vista lateral

6 890 mm
 

2 930 mm

1.- Sistema de acumulación
2, 3.- Expansores
4, 6 y 8.- Sistema de rodillos
5.- Lente de observación
7.- Evacuación de gases
9 y 10.- Cámara de calentamiento
11 y 12.- Bandas transportadoras</td></tr>
</table>

Tabla 4.25. Hoja de especificación de la embaladora

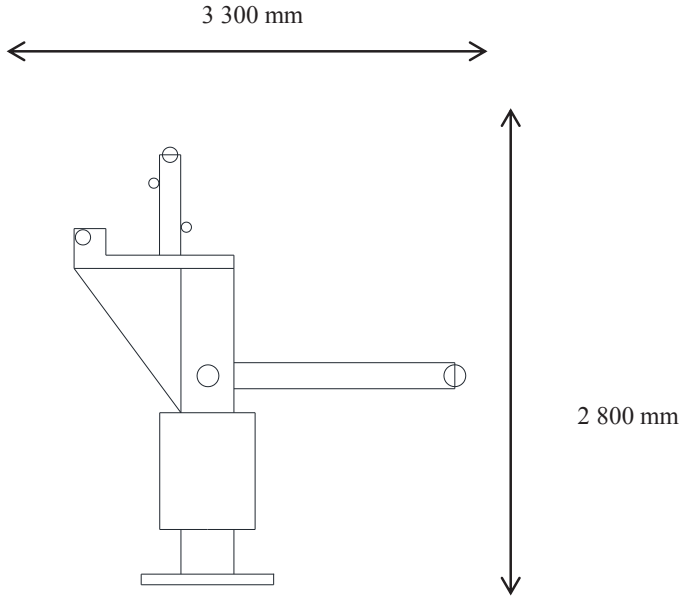
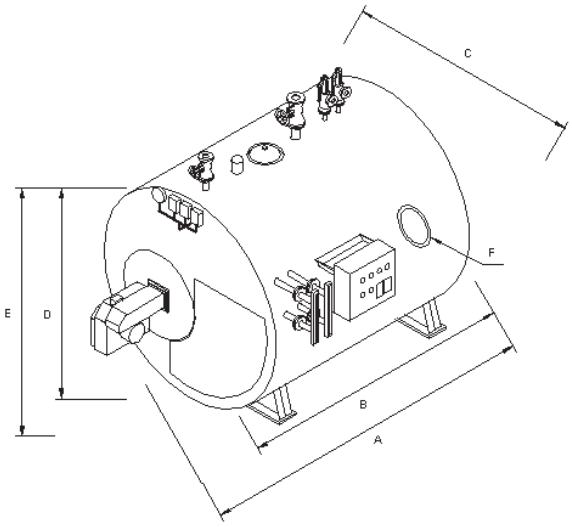
<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°10</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Enrolladora-embaladora</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
WP</td><td>Modelo:
KS</td><td>Material de construcción: Acero inoxidable AISI 316
Etiqueta de la planta: --------</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 3 300 mm
Alto: 2 800 mm
Ancho: 2 500 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Máxima velocidad de trabajo: 80,0 m/min
Ajuste de las dimensiones: variable
Recubrimiento de rodillos: caucho sintético
Voltaje estándar: 220,0 V</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: La tela compactada pasa a la máquina embaladora donde se revisa el ancho y posteriormente es enrollada para su almacenaje, en este proceso la tela es revisada por última vez.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Continuo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:
 
</td></tr>
</table>

Tabla 4.26. Hoja de especificación del caldero

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°11</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Caldero</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
AB&Co</td><td>Modelo:
TT BOILERS</td><td>Material de construcción: Acero al carbón con recubrimiento
Etiqueta de la planta: F-101</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:
Largo: 6 445 mm
Alto: 2 740 mm
Ancho: 2 325 mm</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Tipo: Pirotubular
Capacidad de vapor: 80,0 - 4 000,0 kg/h
Presión máxima de operación: 30,0 bar
Eficiencia: 90,0 – 92,0 %
Aire en exceso: 10,0 – 12,0 %
Aislante: cemento refractante de alto impacto</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: El agua ingresa al caldero para posteriormente alcanzar la temperatura de ebullición a una presión de 129,7 psi, el calentamiento del agua se da mediante gases de combustión que viajan por un banco de tubos en el interior del caldero hasta la chimenea</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Continuo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

Vista superior-lateral

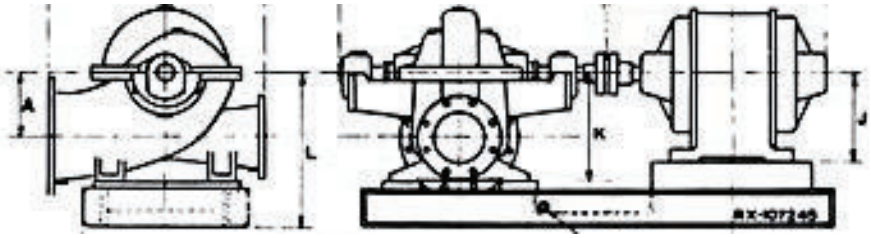
 

A.- 6 445 mm D.- 2 125 mm
B.- 4 950 mm E.- 2 740 mm
C.- 2 325 mm F.- Θ 515 mm</td></tr>
</table>

Tabla 4.27. Hoja de especificación de la bomba centrifuga

<table>
<tr><th colspan="3">HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°12</th></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de equipo: Bomba centrífuga</td></tr>
<tr><td>Fabricante:
BOMBAS SHASA</td><td>Modelo:
RGM-S-20/2</td><td>Material de construcción: Acero inoxidable AISI 316L
Etiqueta de la planta: PB-101; PB-106 A/B</td></tr>
<tr><td>Dimensiones:

Succión 2’’ de diámetro
Descarga 1 1/2’’ de diámetro</td><td colspan="2">Parámetros del equipo:
Potencia: 1,5 kW
Caudal máximo: 56 000,0 L/h
Máxima altura manométrica: 13,0 m
Motor cerrado con ventilación externa
Máxima temperatura del agua: 80,0 °C
Cierre mecánico de alta calidad</td></tr>
<tr><td colspan="3">Principio de funcionamiento: Transporta el agua desde la cisterna hasta los equipos de tinturación, caldero y el equipo de hidroextración, posee una capacidad para tubería de 4 pulgadas a tuberías de 1 pulgada.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Modalidad de operación: Continuo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Esquema del equipo:

(Viejo y Álvarez, 2005, p. 51)

Entrada: 2 ½ pulgadas

Salida: 1 ½ pulgadas</td></tr>
</table>

5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Una vez que se ha realizado el diseño de la planta de acabados textiles se procedió a evaluar económicamente el proyecto, en base a los costos de los equipos, insumos, operación, materias primas y se analizó junto con los ingresos generados por la venta de la tela (Llorens, 2005, pp. 90-93).

El análisis de la rentabilidad económica y financiera de todo proyecto debe ser realizado con base en indicadores financieros, los cuales permiten obtener una idea de la viabilidad del crecimiento económico que tiene cada proyecto (Cabrera y Gutiérrez, 2005, pp. 17-19), para el presente proyecto la rentabilidad del proyecto se la determinó a través de los indicadores económicos VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa de Interés de Retorno).

5.1 INVERSIONES

Se consideró como inversiones todos los costos directos que la empresa Textiles Tornasol S.A. adquiere para el arranque de la planta, en esta sección se consideran como inversiones el costo del terreno, planta de tratamientos de efluentes, costo de los equipos y el costo estimado que la empresa tiene planificado gastar para la edificación de la estructura de la planta.

Debido a que los equipos principales son importados se considera una subpartida arancelaria, la cual está establecida por el Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE, 2016).

En la Tabla 5.1 se muestran los costos establecidos por la empresa Textiles Tornasol S.A. de los gastos necesarios para la construcción de la planta, los costos de inversión por construcción es un dato entregado por parte de la empresa.

Tabla 5.1. Costos de inversión por construcción

Ítem	Descripción	Costo total (USD)
1	Construcción	2 375 417,00
	TOTAL	2 375 417,00

A continuación en la Tabla 5.2 se detalla el costo del sistema de tubería por cada sección, estos incluyen el número de codos que se utilizarían.

Tabla 5.2. Costo del sistema de tuberías y accesorios

Tubería/accesorio	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Tubería SS316 (1 m)	50 m	80,00	4 000,00
Tubería PVC 2 1/2" 6m	10	43,37	433,70
codos 90°	20	25,36	507,20
		TOTAL	4 940,90

En la Tabla 5.3 se detalla el valor total por el sistema de válvulas utilizadas en la planta, las válvulas serían adquiridas en el Ecuador.

Tabla 5.3. Costo del sistema de las válvulas

Válvula	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
válvula de bola 2"	16	125,00	2 000,00
válvula de bola 1 1/2"	16	350,00	5 600,00
válvula check 2"	16	220,00	3 520,00
válvula check 1 1/2"	16	311,20	4 979,20
válvula de globo 3"	5,0	450,00	2 250,00
		TOTAL	18 349,20

En la Tabla 5.4 se muestra el costo unitario y total por cada equipo.

Tabla 5.4. Costo unitario y total de los equipos

Ítem	Producto	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
1	Equipo *Overflow*	4	30 451,50	121 806,00
2	Hidroextractora	1	25 579,26	25 579,26
3	Secadora	1	56 436,78	56 436,78
4	Calandra	2	34 207,19	68 414,38

Tabla 5.4. Costo unitario y total de los equipos (continuación…)

5	Embaladora/enrolladora	1	5 600,00	5 600,00
6	Bomba centrífuga	12	563,08	6 756,96
7	Caldero pirotubular	1	25 000,00	25 000,00
8	Tanque de diésel	1	10 060,96	10 060,96
9	Sistema de tuberías	1	5 138,21	5 138,21
10	Sistema de válvulas	1	20 918,09	20 918,09
11	Máquinas de coser	3	274,82	824,46
12	Equipos de transporte de tela	6	38,00	259,92
13	Montacargas manuales	2	500,00	1 000,00
			TOTAL	**347 795,02**

El valor del capital inicial de inversión es de 2 723 212,02 USD, los cuales serán obtenidos a través de un préstamo al Banco Central del Ecuador con una tasa de interés de 10,21 % y cuotas fijas (Banco Central del Ecuador, 2017) y se amortizará para un total de 10 años como se indica en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Tabla de amortización de la inversión total

Año	Saldo inicial	Interés	Valor cuota	Pago principal	Saldo final
1	2 723 212,02	278 039,95	447 196,22	169 156,27	2 554 055,75
2	2 554 055,75	260 769,09	447 196,22	186 427,12	2 367 628,63
3	2 367 628,63	2 417 34,88	447 196,22	205 461,33	2 162 167,30
4	2 162 167,30	220 757,28	447 196,22	226 438,93	1 935 728,36
5	1 935 728,36	197 637,87	447 196,22	249 558,35	1 686 170,01
6	1 686 170,01	172 157,96	447 196,22	275 038,26	1 411 131,75
7	1 411 131,75	144 076,55	447 196,22	303 119,66	1 108 012,09
8	1 108 012,09	113 128,03	447 196,22	334 068,18	773 943,91
9	773 943,91	79 019,67	447 196,22	368 176,54	405 767,37
10	405 767,37	41 428,85	447 196,22	405 767,37	0,00

5.2 COSTOS FIJOS

Como costos fijos se consideraron aquellos gastos que la empresa debe cubrir independientemente de los ingresos que la misma genere (Arya y Lardner, 2002, pp. 140-147), dentro de estos costos se considera el sueldo de los empleados que van a laborar en el área de tintorería, tal como se estableció en la Tabla 4.4.

Los operadores trabajarían 12 horas, y percibirían un salario de 375,00 USD establecido por el Ministerio de Trabajo (Ministerio del Trabajo, 2017), el mismo ministerio establece también que todo personal encargado de mano de obra debe afiliarse al IESS, cuyo aporte patronal corresponde al 11,15 % del salario básico (IESS, 2017, p. 1). En la Tabla 5.6 se muestra el desglose del costo de pago al personal.

Tabla 5.6. Costos de pagos al personal de trabajo en planta

Cargo	Salario mensual (USD)	Aporte IESS (USD)	Total mensual (USD)	Total anual (USD)	Décimo Tercero (USD)	Décimo Cuarto (USD)	Fondos de reserva (USD)	Número de empleados	Total anual (USD)
Operadores	757,80	84,49	842,29	1 0107,48	757,80	375,00	757,80	6	71 988,48
Operadores Calandra	440,00	49,06	489,06	5 868,72	440,00	375,00	440,00	2	14 247,44
Bodeguero	440,00	49,06	489,06	5 868,72	440,00	375,00	440,00	2	14 247,44
Mantenimiento	600,00	66,90	666,90	8 002,80	600,00	375,00	600,00	2	19 155,60
Ingeniero de planta	1 200,00	133,80	1 333,80	16 005,60	1 200,00	375,00	1 200,00	1	18 780,60
							Total	13	138 419,56

5.3 COSTOS OPERATIVOS

Los costos operativos hacen referencia a los costos que se generan por consumo de agua, luz, materia prima e insumos químicos consumidos por la empresa, para poder obtener el costo tanto del agua como de la luz, se hizo referencia a las Tablas 3.4 y 3.5 las cuales detallan los valores del consumo tanto de energía como de agua, mientras que para definir el tiempo de operación de los equipos se hace referencia en la Tabla 4.1 donde se detalla la planificación de operación.

En la Tabla 5.7 se detalla el costo de la materia prima e insumos químicos que la fábrica necesita para un mes de operación, los datos fueron obtenidos a partir del balance de masa indicado en el Anexo I.

Tabla 5.7. Costos de materia prima e insumos

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD/kg)	Costo total (USD)
1	Peróxido de hidrógeno	10,32 kg	20,00	206,40
2	Colorante	1,96 kg	912,50	1 788,50
3	Auxiliares de tinturación	29,12 kg	23,44	682,67
4	Sal industrial	430,00 kg	0,10	43,00
5	Carbonato de sodio	43,00 kg	0,06	2,55
6	Ácido acético	5,16 kg	0,30	1,55
7	Ácido cítrico	5,59 kg	1,35	7,55
8	Hidróxido de sodio	17,20 kg	1,00	17,20
			TOTAL	**2 749,42**

El costo de la materia prima por un día de operación es de 2 749,42 USD, mientras que su valor mensual es de 65 986,08 USD, lo cual genera un gasto en consumo anual de 791 832,96 USD.

En la Tabla 5.8 se muestra el precio final de los costos operativos por los servicios de agua, energía y combustible, indispensables para el funcionamiento de la planta de acabados textiles. El cálculo que se realizó para la obtención de los costos operativos se encuentra en el Anexo V.

Tabla 5.8. Precio final de los costos operativos por agua, energía y combustible

Descripción	Precio	Costo mensual (USD)	Costo anual (USD)
Recurso energético	0,07 (USD/kW-h)	1 355,27	16 741,56
Recurso agua	0,72 (USD/m^3)	993,60	11 923,20
Diésel	0,80 (USD/gal)	7 458,05	89 496,57
		Total	**118 161,33**

El costo del diésel 2 se obtuvo mediante del listado de precios establecidos para las empresas la cual suministra EP Petroecuador, donde se encuentran regulados los precios del derivado de petróleo según su uso (EP Petroecuador, 2016).

Los costos operativos generados por el consumo de energía de los equipos, consumo de agua, consumo de diésel y el consumo de insumos químicos lo cual da un valor de 909 994,29 USD.

Otro costo operativo es el tratamientos de efluentes líquidos, el cual se lo va a realizar mediante un proceso químico como es la electrocoagulación, el costo neto mensual estimado del proceso de electrocoagulación es de 0,43 USD/m^3, dicho valor se lo obtuvo de una tesis realizada en el departamento de Ciencias Nucleares de la Escuela Politécnica Nacional (Zaldumbide, 2016, p. 101).

El costo anual por el tratamiento de efluentes líquidos alcanzan un valor de 13 870,69 USD, los cálculos se encuentran detallados en el Anexo V.

5.4 INGRESOS DE VENTAS

La planta de acabados textiles fue diseñada para una producción mensual de 31,20 t/mes, las telas son empacadas en rollos de aproximadamente 22 kg, y su precio varía en función de su color, con lo cual el precio del rollo de dumba claro es de 200,00 USD el rollo.

Para los ingresos por venta de tela se consideró que durante el primer año la empresa venderá el 60 % de su producción (31,20 t/mes), a partir del segundo año la empresa podrá vender el 90 % de su producción anual (Keat y Young, 2004, pp. 270-275), esto se consideró a partir de un modelo simple de pronóstico, ya que la empresa actualmente alcanza un 80 % de ventas en su producción anual (dato proveniente de la empresa).

El ingreso por venta en el primer año es 2 042 160,00 USD mientras que para los otros años el ingreso es de 3 063 240,00 USD, los cálculos se los puede apreciar en el Anexo V.

5.5 INDICADORES DE RENTABILIDAD

El proyecto será evaluado en un tiempo de 10 años, en la Tabla 5.9 se muestra el valor en libros de la depreciación al costo total de los equipos.

Tabla 5.9. Valor en libros de la depreciación

Año	Gasto depreciación	Depreciación acumulada	Valor en libros
0	347 795,02	---	---
1	34 779,50	34 779,50	313 015,52
2	34 779,50	69 559,00	278 236,02
3	34 779,50	104 338,51	243 456,51
4	34 779,50	139 118,01	208 677,01
5	34 779,50	173 897,51	173 897,51
6	34 779,50	208 677,01	139 118,01
7	34 779,50	243 456,51	104 338,51
8	34 779,50	278 236,02	69 559,00
9	34 779,50	313 015,52	34 779,50
10	34 779,50	347 795,02	0,00

En la Tabla 5.10 se muestra el flujo de caja en el cual se consideró los valores tanto de la amortización del capital de inversión, el valor de la depreciación anual al costo total de los equipos tal como indica la estructura propuesta por Barajas, (2008, pp. 166-167).

Tabla 5.10. Flujo de caja para el diseño del área de acabados textiles

Descripcón del aprote	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	2 723 212,02	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ingresos	---	2 042 160,00	3 063 240,00	3 063 240,00	306 3240,00	3 063 240,00	3 063 240,00	3 063 240,00	3 063 240,00	3 063 240,00	3 063 240,00
Costo operativo	---	923 864,98	923 864,98	923 864,98	923 864,98	923 864,98	923 864,98	923 864,98	923 864,98	923 864,98	923 864,98
Costos Fijos	---	138 419,56	138 419,56	138 419,56	138 419,56	138 419,56	138 419,56	138 419,56	138 419,56	138 419,56	138 419,56
Amortización	---	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22
Depreciación	---	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50
Utilidad bruta	---	497 899,74	1 518 979,74	1 518 979,74	1 518 979,74	1 518 979,74	1 518 979,74	1 518 979,74	1 518 979,74	1 518 979,74	1 518 979,74
Impuesto a la renta 35%	---	174 264,91	531 642,91	531 642,91	531 642,91	531 642,91	531 642,91	531 642,91	531 642,91	531 642,91	531 642,91
Utilidad menos impuestos	---	323 634,83	987 336,83	987 336,83	987 336,83	987 336,83	987 336,83	987 336,83	987 336,83	987 336,83	987 336,83
Amortización	---	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22	447 196,22
Depreciación	---	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50	34 779,50
Pago Principal	---	169 156,27	186 427,12	205 461,33	226 438,93	249 558,35	275 038,26	303 119,66	334 068,18	368 176,54	405 767,37
Flujo de caja	-2 723 212,02	636 454,28	1 282 885,43	1 263 851,22	1 242 873,62	1 219 754,20	1 194 274,29	1 166 192,89	1 135 244,37	1 101 136,01	1 063 545,18

Para el cálculo del VAN y el TIR se tomó como consideración una tasa de descuento (Td) del 10,01 % la cual se encuentra establecida por el Banco Central del Ecuador para proyectos de inversión empresariales (Banco Central del Ecuador, 2017).

En la Tabla 5.11 se puede observar los valores de los indicadores de la rentabilidad cuyos cálculos se encuentran detallados en el Anexo V.

Tabla 5.11. Indicadores de la rentabilidad (VAN y TIR)

Indicador	Valor
VAN (USD)	4 150 649,39
TIR	27,62 %

Como se muestra en la Tabla 5.10, el VAN es un valor positivo el cual indica que el proyecto sí es viable, es decir que a lo largo del tiempo la fábrica va a recuperar la inversión y a superar los costos tanto operativos como fijos, sin embargo para el cálculo del VAN se consideró en el flujo de caja que exista un total de ingresos por ventas lo cual depende mucho del mercado.

El valor del TIR de un 27,62 % indica la rentabilidad que va a tener el proyecto, este valor depende mucho del VAN como se aprecia en el Anexo V y por ende depende también del ingreso que tenga la fábrica.

Los costos operativos hacen relación a los costos de materia prima e insumos y a los costos por consumo energético, agua y combustible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aduana del Ecuador (SENAE). (2016). *Servicio de importaciones*. Recuperado de: https://www.aduana.gob.ec/index.action (Diciembre, 2016).

2. Afif, E. (2004). Apuntes de Hidráulica para explotaciones forestales. Asturias, España: Universidad de Oviedo.

3. Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (2013). *Calderas industriales y oportunidades de eficiencia energética*. Recuperado de: http://www.acee.cl/calderas-industriales-y-oportunidades-de-eficiencia-energetica/ (Noviembre, 2016).

4. Albrecht, W., Fuchs, H. y Kittelmann, W. (2003). *Nonwoven Fabrics: Raw materials, manufacture, applications, characteristics, testing processes*. Heppenheim, Alemania: WILEY-VCH.

5. ANSI/ISA S5.1. (1986). *Instrumentation Symbols and Identification.* Recuperado de: https://www.isa.org/pdfs/microsites1142/s_55/ (Septiembre, 2016).

6. API RP 14E. (1991*). Recommended practice for Desing and Istallation of Offshore Production Plataform Piping Systems*. Recuperado de: https://www.scribd.com/doc/127884553/API-RP-14E-1991-pdf (Septiembre, 2016).

7. 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).

8. Arya, C. y Lardner, R. (2002). Matemáticas aplicadas a la administración y a la economía. Monterrey, México: PEARSON.

9. ASA Y32.11. (1961). *Graphical Symbols for Process Flow Diagrams.* Recuperado de: amyd.quimica.unam.mx/mod/resource/view.php?id=118 (Septiembre, 2016).

10. 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).

11. ASME B 31.3. (2002). *Process piping*. Recuperado de: https://es.scribd.com/doc/122623807/ASME-B31-3-español-1-pdf (Septiembre, 2016).

12. ASME PD 719. (2010). *Reglas para la construcción de calderas de potencia*. Recuperado de: http://files.asme.org/Catalog/Codes/PrintBook/34365.pdf (Junio, 2016).

13. ASTM A 516. (2000). *Pressure vessel Steel*. Recuperado de: http://www.ferrocortes.com.co/download/FT-11-001-ASTM-A516-GR70.pdf (Noviembre, 2016).

14. Banco Central del Ecuador. (2017). *Cuentas nacionales 2000-2013*. Recuperado de: https://www.bce.fin.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo/item/804-el-banco-central-del-ecuador-publica-los-resultados-de-las-cuentas-nacionales-para-el-per%C3%ADodo-2007-a-2013 (Marzo, 2017).

15. Banco Central del Ecuador. (2017). *Indicadores económicos*. Recuperado de: https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/ 754 (Febrero, 2017).

16. Barajas, A. (2008). Finanzas para no financistas. (4ta ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Pontifica Universidad Javeriana.

17. Beverly, R. (2009). *Pump Selection and Troubleshooting Field Guide*. New Jersey, Estados Unidos de América: American Water Works Association.

18. Cabrera, C. y Gutiérrez, A., (2005). *Principales indicadores financieros y del sector externo de la economía mexicana*. México D.F., México: Editorial de la Universidad Nacional Autónoma de México.

19. Casals, M., Dolors, M. y Roca, X. (2001). *Complejos Industriales*. Barcelona, España: Edicions UPC.

20. Castells, X. (2005). *Tratamiento y Valorización energética de residuos*. Barcelona, España: Fundación Universitaria Iberoamericana.

21. 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

22. Choudhury, R. (2006). *Textile Preparation and Dyeing*. New Hampshire, Estados Unidos de América: Science Publishers.

23. Christie, R. (2015). *Colour Chemistry*. (2da ed.). Cambridge, Inglaterra: Royal Society of Chemistry.

24. Cie, C. (2015). *Ink Jet Textile Printing*. Cambridge, Inglaterra: ELSEVIER: The Textile Institute.

25. Clark, M. (2011). *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes*. Cambridge, Inglaterra: Hoodhead Plublishing series in Textiles.

26. De la Fuente, D. y Fernández, I. (2005). *Distribución en Planta*. Asturias, España: Editorial Universidad de Oviedo (Junio, 2016).

27. 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).

28. Distrito Metropolitano de Quito. (2016). Plan Metropolitano de desarrollo y ordenanza territorial N° 127-2016. Recuperado de: http//ecp.ec/documentos/arqutectura/ORDM_127-pdf (Abril, 2017)

29. 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

30. Empresa Eléctrica Quito. (2016). *Pliego tarifario.* Recuperado de http://goo.gl/Z93283 (Septiembre, 2016).

31. Empresa Pública Metropolitana de Agua y Saneamiento EPMAPS. (2016). *Indicadores económicos*. Recuperado de http://www.aguaquito.gob.ec/ (Septiembre, 2016).

32. EP Petroecuador. (2016). *Precio de venta en terminales*. Recuperado de: http://www.eppetroecuador.ec/?p=2011 (Diciembre, 2016).

33. Felder, R. y Rousseau, R. (2004). *Principios elementales de los procesos químicos*. (3ra Ed.). México D. F., México: Grupo Noriega.

34. 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 (Septiembre, 2016).

35. Fúquene, C. (2007). *Producción limpia, contaminación y gestión ambiental*. Bogotá, Colombia: Editorial Pontifica Universidad Javeriana.

36. Giancoli, D. (2006). *Física: Principios con aplicaciones vol. 1*. (6ta ed.). Naucalpan de Juárez, México: PEARSON Prentice Hall.

37. Groover, M. (2000*). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. (2da ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Prentice Hall.

38. Halmos G. (2006). *Roll Forming Handbook*. Toronto, Canadá: CRC Taylor & Francis Group.

39. Hans, D. (2009). *Control Valve Primer: A user's guide*. (4ta ed.). New York, Estados Unidos de América: ISA.

40. Himmelblau, D. (2002). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química*. (6ta ed.). México: Pearson Educación.

41. Holman, J. (1999). *Heat Transfer*. (4ta ed.). New York, Estados Unidos de América: McGraw-Hill Higher Education.

42. Hull, D. (2003). *Materiales Compuestos*. (Reimpresión). Sevilla, España: Reverté S.A.

43. 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.

44. Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social IEES. (2016). *Empleador*. Recuperado de: https://www.iess.gob.ec/ (Diciembre, 2016).

45. Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social (ILPES). (2006). *Guía para la presentación de proyectos*. (27ma ed.). México D.F., México: Siglo Veintiuno Editores.

46. Irfan, M. (2010*). Chemistry and technology of Thermosetting Polymers in construction applications*. (reprinted). London, England: Springer-Science+business media, B.V.

47. Jenkins, R. y García, A. (2008). *Ambiente e Industria en México: tendencias, regulación y comportamiento empresarial*. México D.F., México: El colegio de México, A. C.

48. Keat, P., y Young, P. (2004). Economía de Empresas. (4ta ed.). Naucalpan de Juárez, México: PEARSON.

49. 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.

50. Kuppan, T. (2013). *Heat Exchanger Design Handbook*. (2da ed.). New York, Estados Unidos de America: CRC Press.

51. Lacasse, K. y Baumann, W. (2004). *Textile Chemicals: Environmental Data and Facts*. Dortmund, Alemania: Springer.

52. Lockuán, F. (2012). *La Industria Textil y su control de Calidad V-VI*. México D.F., México: UL.

53. Loreto, F., Sara, F. y Alfonso, R. (2007). La práctica de las finanzas de empresa. México D.F., México: Delta pblicaciones.

54. Llorens, J. (2005). *Gerencia de Proyectos de Tecnología de Información*. Caracas, Venezuela: CEC, SA.

55. McCabe L., Smith, C. y Harriot, P. (2007). Operaciones Unitqarias en Ingeniería Química. (7ma ed.). México D.F., México: Mcgraw-Hill Interamericana S.A.

56. Méndez, R., Vidal, G., Loberl, K. y Márquez, F. (2007). *Producción limpia en la industria de Curtiembre*. Coruña, España: Editorial Imprenta Universitaria.

57. Mills, F. (1995). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México D.F., México: Iberoamericana S.A.

58. Ministerio del Trabajo. (2017). *Salarios mínimos sectoriales*. Recuperado de: http://www.trabajo.gob.ec/biblioteca/ (Marzo, 2017).

59. Montes, M., Domínguez, M. y Roviera, A. (2014). Ingeniería térmica. Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia de Madrid.

60. Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos*. (6ta ed.). Naucalpan de Juárez, México: PEARSON EDUCATION.

61. Mujundar, A., (2006). *Handbook of Industrial Drying*. (3rd ed.). New York, Estados Unidos de America: Taylor & Francis.

62. Navarro, P. y Pérez, J. (2003). *Manual de Química de las Disoluciones*. (2da ed.). Alicante, España: Editorial Club Universitario.

63. PDVSA. (1995). *Manual de diseño de procesos de separación física tambores separadores.* Recuperado de http://myslide.es/documents/manual-de-ingenieria-de-diseño-vol15-pdvsa-html (Septiembre, 2016).

64. PEDROLLO. (2016). *Curva de operación y datos de presentación*. Recuperado de: http//pedrollo.com.ec/producto/2cp/ (Noviembre, 2016).

65. Perry, R. (2000). *Chemical Engineer Handbook*. Tomo III. (6th ed.). New York, Estados Unidos de Norte América: McGraw-Hill

66. Pesok, J. (2012). *Introducción a la Tecnología Textil*. Montevideo, Uruguay: URU.

67. Peters, M. y Timmerhaus, K. (2002). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers.* Tokio: McGraw-Hill.

68. Pineda, L. y Jara, M. (2010). *Prospectiva y vigilancia tecnológica en la cadena fibra-textil-confecciones*. Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario.

69. Rehbein, M. (2009). *Digital textile printing and the influence on design*. Múnich, Alemania: GRIN Verlag GmbH.

70. Roy, A. (2006). *Textile Preparation and Dyeing*. New Hampshire, Estados Unidos de América: Sciencie Publishers.

71. Russell, A. (2013). *Principios básicos del diseño Textil*. (3ra ed.). Barcelona, España: Gustavo Gili.

72. Secretaria de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. (2014). *Normativas técnicas ambientales resolución NO.SA-DGCA-NT002-2016*. Recuperado de: http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/calidad-y-gestion-ambiental/normativas#resoluciones (Abril, 2017).

73. Sinnott, R. (2005). *Chemical Engineering Design.* (4ta ed.). Londres, Inglaterra: Elsevier.

74. Soto, L. (2003). Refuerzo de matemáticas. Madrid, España: NARCEA S.A.

75. Streeter, V. (2000). *Mecánica de los fluidos.* (9 ed). Santafé de Bogota, Colombia: McGraw Hill.

76. Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros. (2012). *Portal de información*. Extraído de: http://appscvs.supercias.gob.ec/portalInformacion/sector_societario.zul (Noviembre, 2016).

77. Toghraei, M. (2014). *Principles of P&ID Development.* Recuperado de http://search.proquest.com/openview/6fbc9dcb7a4aafa83f64f9deabc93e7b/1?pq-origsite=gscholar (Octubre, 2016).

78. Tzanko, T., Silgia, A., Gübitz, M. y Cavaco, A. (2001). *Hydrigen peroxide generation with immobilized glucose oxidase for textile bleaching*. ELSEVIER: Journal of Biotechnology 93 pp. 87-93. doi: 10.1016/So168-1656(01)00386-8

79. Vera, G. y Lidija, T. (1999). *VIS absorption spectrophotometry of disperse dyes*: ELSEVIER Dyes and Pigments 40. pp. 211-217. doi: 10.1016S0143-7208(98)00055-2.

80. Villarquide, A. (2005). *La Pintura sobre la Tela II: Alteraciones, materiales y tratamientos de restauración*. (Tomo II). Madrid, España: Editorial Nerea.

81. Vivanco, M. (2005). Muestreo estadístico: diseño y aplicaciones. Santiago de Chile, Chile. Editorial universitaria S.A.

82. Walter, a., Santillo, d. y Johnston, P. (2005). *An Overview of Textile Processing and Related Environmental Concerns*. Exeter, Reino Unido: University of Exeter Editorial

83. 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

84. Zaldumbide, J. (2016). *Selección entre un proceso de electrocoagulación y un proceso de electrocoagulación con Fenton para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de la empresa textil FABRINORTE CIA. LTDA. (Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero).* Recuperado de: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/14858 (Abril, 2017).

ANEXOS

ANEXO I

BALANCE DE MASA

En el anexo AI se detalla el balance de masa realizado a los principales equipos que conforman la línea de tinturación, el proceso más importante a evaluar son los procesos de tinturación que se realizan en los equipos *Overflow* debido a que allí es donde se tiene el mayor consumo de agua e insumos químicos.

AI.1 ENSAYOS PREVIOS

Previo al balance de masa se evaluó las curvas de calibración de los colorantes que se describen en la Tabla 2.1 establecido en el Capítulo 1.

En las Tablas AI.1 – AI.2 se muestran las condiciones de concentración y longitud de onda máxima a las cuales fueron obtenidos los datos de absorción para los diferentes colorantes (Vera y Lidija, 2009, pp. 211-217).

Tabla AI.1. Concentración y absorbancia medida a 302 nm para el colorante amarillo reactivo ME4GL

Concentración [ppm]	Absorbancia
200	2,255
100	1,492
50	0,939

Tabla AI.2. Concentración y absorbancia medida a 419 nm para el colorante amarillo reactivo ED

Concentración [ppm]	Absorbancia
200	3,396
150	2,819
50	2,039

Posteriormente se procede a graficar absorbancia vs concentración de colorante con el fin de obtener una linealización que permita encontrar la función que relacione la concentración con la absorbancia medida, las gráficas de los colorantes se los puede apreciar en las Figuras AI.1 y AI.2.

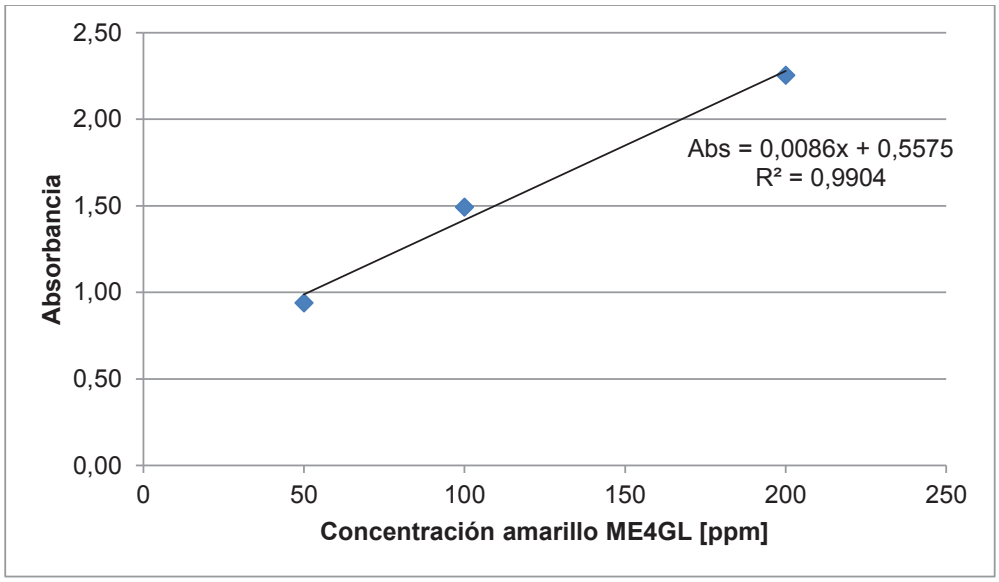


Figura AI.1. Curva de calibración del colorante amarillo reactivo ME4GL

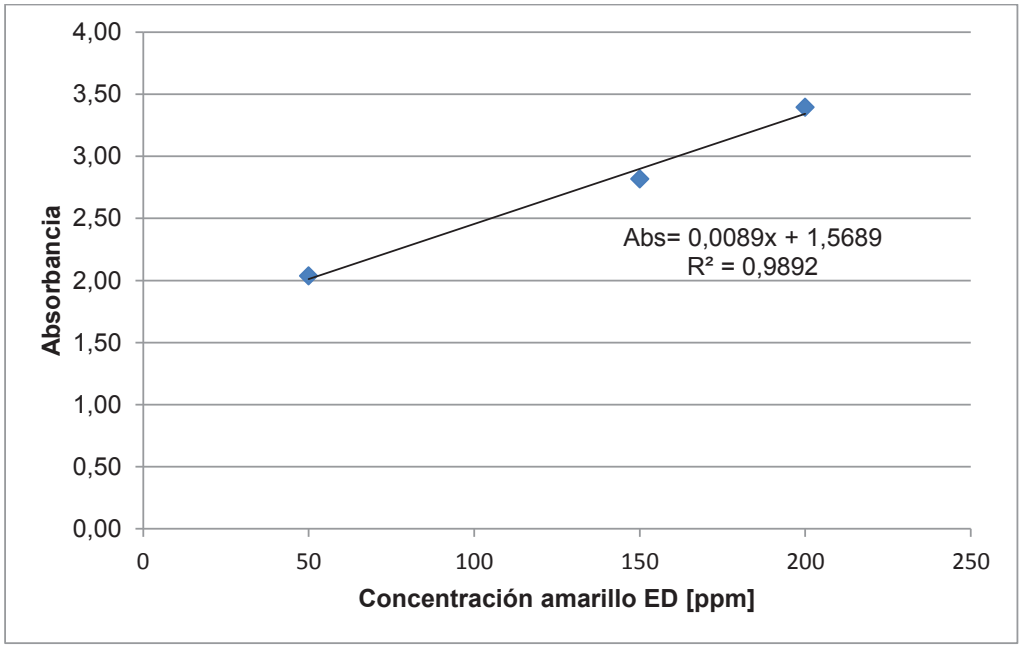


Figura AI.2. Curva de calibración del colorante amarillo ED

De las Figuras AI.1 y AI.2 se toma las ecuaciones de las regresiones líneas que se presentan en las Ecuaciones AI.1 y AI.2 Las cuales se utilizan para determinar la concentración de cada colorante en el baño residual de la tinturación del algodón.

Abs=0,0086*[ME4GL]+0,5575
[AI.1]

Abs=0,0089*[ED]+1,5689 [AI.2]

En la Tabla AI.3 se muestran las concentraciones obtenidas en los baños residuales de la tinturación del algodón.

Tabla AI.3. Concentración de los colorantes en los baños residuales de tinturación del algodón

Baño residual de la tinturación del algodón		
Colorante	**Absorbancia**	**Concentración [ppm]**
Amarillo ME4GL	1,208	75,64
Amarillo ED	1,921	39,56

Los datos de absorbancia de los diferentes colorantes fueron medidos en base a la longitud de onda máxima establecidos según el tipo de colorante.

Con los datos de concentración final se obtiene el porcentaje de agotamiento de cada colorante con lo cual se puede realizar el balance de masa y definir la cantidad de colorante que sale del proceso como efluente. En la Tabla AI.4 se establece el porcentaje de colorante que permanece en el baño.

Tabla AI.4. Porcentaje de colorante residual en el baño de tinturación

Baño de tinturación del algodón			
Colorante	**Concentración inicial [ppm]**	**Concentración final [ppm]**	**Porcentaje residual (%)**
Amarillo ME4GL	123,73	75,64	61,13

Amarillo ED	60,50	39,56	65,38

Las concentraciones iniciales fueron calculadas en base a las cargas de colorante que se suministran a nivel de laboratorio donde se trabaja con 10 g de tela y 70 mL de agua.

La determinación de la cantidad de colorante disperso remanente en el baño residual, se realizó mediante diferencia de peso entre el vaso con el baño residual, y el vaso con el residuo de la evaporación del baño.

Para una tinturación de 10 g de poliéster se utilizó 0,006 g de colorante disperso (partiendo de la receta de tinturación), para una cantidad de 70 mL de agua.

El baño residual de tinturación consta de 40 mL de solución, con lo cual un 42,86% del baño se va con la tela, en base a la receta se calcula el porcentaje en peso que representa el colorante disperso respecto al dispersol y al ácido cítrico de la siguiente manera:

$$\text{ácido cítrico} = \frac{0{,}650\ \text{g}}{\text{L}} * \frac{\text{L}}{1000\ \text{mL}} * 70{,}00\ \text{mL} = 0{,}046\ \text{g}$$

$$\text{dispersol} = \frac{1\ 000\ \text{g}}{\text{L}} * \frac{\text{L}}{1\ 000\ \text{mL}} * 70{,}00\ \text{mL} = 0{,}070\ \text{g}$$

$$\%\ \text{colorante} = \frac{0{,}006\ \text{g}}{(0{,}006+0{,}070+0{,}046)} * 100{,}00\ \text{mL} = 4{,}92\ \%$$

Posteriormente con ayuda de un vaso de precipitación de 50 mL se procede a calcular el peso de los insumos contenidos en 40 mL del baño residual colocando el vaso con la solución en una plancha de calentamiento y evaporando el agua, como los colorantes dispersos soportan temperaturas por encima de los 100 °C estos no se degradan por lo que únicamente se evapora el agua en la plancha de calentamiento. En la Tabla AI.5 se muestran los resultados obtenidos, las mediciones fueron realizadas en una balanza analítica con sensibilidad 0,0001 g.

Tabla AI.5. Peso de los insumos en el baño residual del poliéster

Baño residual de la tinturación del poliéster		
Detalle	**Cantidad**	**Unidad**
Vaso de 50 mL	32,4031	g
Vaso + insumos	32,4105	g

Con los datos de la Tabla AI.5 se pudo determinar el peso de los insumos contenidos en 40 mL de baño residual los cuales tuvieron un valor de 0,0074 g.

Del valor obtenido se calcula el peso del colorante utilizando el porcentaje obtenido previamente.

$$\text{Peso colorante} = 0{,}0074\ \text{g} * \frac{4{,}93\ \text{g colorante}}{100\ \text{g insumos}} = 0{,}0004\ \text{g}$$

$$\%\ \text{colorante en el baño residual} = \frac{0{,}0004\ \text{g}}{0{,}0060\ \text{g}} * 100{,}00 = 6{,}00\ \%$$

Con los datos obtenidos se procede a calcular el balance de masa en cada equipo de tinturación.

Para determinar la pérdida de peso en el proceso de descrude, se tomó una muestra de 10 g del tejido dumba y se realizó una solución de 70 ml del baño de descrude, en base a la receta indicada en la Tabla 2.1. para determinar mediante diferencia de pesos la pérdida existente de material en el proceso de descrude y pre-blanqueo.

En la Tabla AI.6. se muestran los valores de peso obtenidos los cuales fueron medidos por medio de una balanza analítica con sensibilidad 0,0001 g.

Tabla AI.6. Peso de la tela cruda y descrudada

Especificación	Peso [g]

Tela cruda	10,0562
Tela descrude	9,4327

De la Tabla AI.6 se puede determinar que el porcentaje de peso perdido en el proceso de descrude es de 6,19 %, un porcentaje muy pequeño debido a que la tela dumba está compuesta por un 65 % de poliéster y un 35 % de algodón.

AI.2 BALANCE DE MASA EN LOS EQUIPOS DE TINTURACIÓN

Figura AI.3 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 AI.3. considerando que los procesos de tinturación son realizados de forma batch.

$$A = E - S + G - C \qquad [AI.3]$$

Donde:

A : acumulación (kg)
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 Ecuacion AI.3 se reduce a la Ecuación AI.4.

$$A = E - S \qquad [AI.4]$$

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 AI.7. se muestra la variación del peso.

Tabla AI.7. Peso de la tela cruda y mojada

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

De la Tabla AI.7 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:

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

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

$$\text{Res} = 2\,600 \text{ L} * 1{,}00 \ \frac{\text{g de reactivo}}{\text{L de agua}} = 2\,600{,}00 \text{ g de Res}$$

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

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

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

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

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

$$H_2O_2 = 2\,600 \text{ L} * 1{,}20 \ \frac{\text{g } H_2O_2}{\text{L de agua}} = 3\,120{,}00 \text{ g } H_2O_2$$

$$H_2O_2 = 3{,}12 \text{ kg}$$

$$\text{Efluentes}_1 = 2\,600 \text{ L} + \text{Na(OH)} + \text{Res} + \ H_2O_2 - \text{agua en tela} + \text{impurezas del descrude}$$

Las impurezas del descrude hace referencia al 6,19 % de perdida establecida en la Tabla AI.6.

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

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

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:

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

Balance de masa en la tinturación del poliéster:

$$\text{Acc} = \text{ácido cítrico}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{Cazs} = \text{kg de tela} * 0{,}56\ \frac{\text{g de Cazs}}{\text{kg de tela}}$$

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

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

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

$$\text{Cac} = \text{kg de tela} * 0{,}013 \frac{\text{g de Cac}}{\text{kg de tela}}$$

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

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

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

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

Balance de agua en el proceso de enjuague:

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

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación del algodón:

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

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

$$\text{Erp} = 2\,600 \text{ L} * 1{,}00 \frac{\text{g de reactivo}}{\text{L de agua}} = 2\,600{,}00 \text{ g}$$

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

$$\text{Cra} = \text{colorante AMARILLO REACTIVO ME4GL}$$

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

$$\text{Cra} = 437{,}12 \text{ kg} * 0{,}73 \frac{\text{g de Cra}}{\text{kg de tela}} = 319{,}09 \text{ g}$$

$$\text{Cra} = 0{,}32 \text{ kg}$$

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

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

$$\text{Crr} = 437{,}12\ \text{kg} * 0{,}36\ \frac{\text{g de Cra}}{\text{kg de tela}} = 157{,}36\ \text{g}$$

$$\text{Crr} = 0{,}16\ \text{kg}$$

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

$$\text{NaCl} = 2\ 600\ \text{L} *\ 50{,}00\ \frac{\text{g de sal industrial}}{\text{L de agua}} = 130\ 000{,}00\ \text{g}$$

$$\text{NaCl} = 130{,}00\ \text{kg}$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 =\ 2\ 600\ \text{L} *\ 5{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{L de agua}} = 13\ 000{,}00\ \text{g}$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 13{,}00\ \text{kg}$$

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

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

$$\text{Efluentes}_5 = 2\ 600\ \text{L} * 0{,}993\ \frac{\text{kg}}{\text{L}} + \text{NaCl} + \text{Erp} + 0{,}61 * \text{Cra} + 0{,}65 * \text{Crr} + \text{Na(OH)} + \text{Na}_2\text{CO}_3$$

$$\text{Efluentes}_5 = 2\ 730{,}30\ \text{kg}$$

Balance de reactivos y agua para neutralizado:

$$\text{CH}_3\text{COOH} =\ 2\ 600\ \text{L} *\ 0{,}30\ \frac{\text{g}}{\text{L de agua}}$$

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

$$\text{Efluentes}_6 = 2\,600\ \text{L agua} * 0{,}993\ \frac{\text{kg}}{\text{L}} + 0{,}78\ \text{kg} = 2\,582{,}32\ \text{kg}$$

Balance de agua en proceso de lavado:

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

$$\text{Erp} = 2\,600\ \text{L} * 0{,}20\ \frac{\text{g de reactivo}}{\text{L de agua}} = 520{,}00\ \text{g}$$

$$\text{Erp} = 0{,}52\ \text{kg}$$

$$\text{Efluentes}_7 = 2\,600\ \text{L agua} * 0{,}993\frac{\text{kg}}{\text{L}} + 0{,}52\ \text{kg} = 2\,582{,}32\ \text{kg}$$

Balance de agua en proceso de 4 enjuagues:

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

Balance de agua en proceso de fijación:

$$CH_3COOH = \ 2\,600\ \text{L} * \ 0{,}30\ \frac{\text{g}}{\text{L de agua}}$$

$$CH_3COOH = 0{,}78\ \text{kg}$$

$$\text{Qym} = \text{Reactivo AV FIX PF 20}$$

$$\text{Qym} = 2\,600\ \text{L} * 1{,}00\ \frac{\text{g de reactivo}}{\text{L de agua}} = 2\,600\ \text{g}$$

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

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

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

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

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

Balance de masa en la máquina Thies:

Figura AI.4 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.

Para el cálculo del balance de masa se considera la Ecuación AI.4

Balance de masa del proceso de descrude:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$H_2O_2 = 2\,000 \text{ L} * 1{,}20 \ \frac{\text{g } H_2O_2}{\text{L de agua}} = 2\,400{,}00 \text{ g } H_2O_2$$

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

$$\text{Efluentes}_{1.1} = 2\,000 \text{ L} + \text{Na(OH)} + \text{Res} + \ H_2O_2 - \text{agua en tela} + \text{impueras del descrude}$$

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

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

Balance de agua en proceso de enjuague:

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

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación poliéster:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{Cazs} = \text{kg de tela} * 0{,}56\ \frac{\text{g de Cazs}}{\text{kg de tela}}$$

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

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

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

$$\text{Cac} = \text{kg de tela} * 0{,}01\ \frac{\text{g de Cac}}{\text{kg de tela}}$$

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

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

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

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

Balance de agua en proceso de enjuague:

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

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación del algodón:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Na_2CO_3 = 2\,000\ \text{L} * 5{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{L de agua}} = 10\,000{,}00\ \text{g}$$

$$Na_2CO_3 = 10{,}00\ \text{kg}$$

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

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

$$\text{Efluentes}_{5.1} = 2\,000\ \text{L} * 0{,}993\ \frac{\text{kg}}{\text{L}} + \text{NaCl} + \text{Erp} + 0{,}61 * \text{Cra} + 0{,}65 * \text{Crr} + Na(OH) + Na_2CO_3$$

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

Balance de reactivos y agua para neutralizado:

$$CH_3COOH = 2\,000\ \text{L} * 0{,}30\ \frac{\text{g}}{\text{L de agua}}$$

$$CH_3COOH = 0{,}60\ \text{kg}$$

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

Balance de agua en proceso de lavado:

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

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

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

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

Balance de agua en proceso de 4 enjuagues:

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

Balance de agua en proceso de fijación:

$$CH_3COOH = \ 2\,000\ \text{L} * \ 0{,}30\ \frac{\text{g}}{\text{L de agua}}$$

$$CH_3COOH = 0{,}60\ \text{kg}$$

$$\text{Qym} = \text{Reactivo AV FIX PF 20}$$

$$\text{Qym} = 2\,000\ \text{L} * 1{,}00\ \frac{\text{g de reactivo}}{\text{L de agua}} = 2\,000\ \text{g}$$

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

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

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

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

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

Balance de masa en la máquina Devrekha:

Figura AI.5 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.

Para el cálculo del balance de masa se considera la Ecuación AI.4

Balance de materia del proceso de descrude:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Balance de agua en proceso de enjuague:

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

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación poliéster:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{Cazs} = \text{kg de tela} * 0{,}56 \ \frac{\text{g de Cazs}}{\text{kg de tela}}$$

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

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

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

$$\text{Cac} = \text{kg de tela} * 0{,}01 \ \frac{\text{g de Cac}}{\text{kg de tela}}$$

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

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

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

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

Balance de agua en proceso de enjuague:

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

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación del algodón:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{Efluentes}_{5.2} = 2\,100{,}22\ \text{kg}$$

Balance de reactivos y agua para neutralizado:

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

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

$$\text{Efluentes}_{6.2} = 2\,000\ \text{L agua} * 0{,}993\ \frac{\text{kg}}{\text{L}} + 0{,}60\ \text{kg} = 1\,986{,}60\ \text{kg}$$

Balance de agua en proceso de lavado:

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

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

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

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

Balance de agua en proceso de 4 enjuagues:

$$\text{Efluentes}_{7.2} = 2\,000\ \text{L agua} * 0{,}993\ \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 4{,}00 = 7\,944{,}00\ \text{kg}$$

Balance de agua en proceso de fijación:

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

$$CH_3COOH = 0{,}60 \text{ kg}$$

$$\text{Qym} = \text{Reactivo AV FIX PF 20}$$

$$\text{Qym} = 2\,000 \text{ L} * 1{,}00 \frac{\text{g de reactivo}}{\text{L de agua}} = 2\,000{,}00 \text{ g}$$

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

$$\text{Efluentes}_{8.2} = 2\,000 \text{ L agua} * 0{,}993 \frac{\text{kg}}{\text{L}} + 2{,}60 \text{ kg} = 1\,988{,}60 \text{ kg}$$

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

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

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

Balance de masa en la máquina Tecninox:

Figura AI.6 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.

Para el cálculo del balance de masa se considera la Ecuación AI.4

Balance de materia del proceso de descrude:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$H_2O_2 = 2\,000 \text{ L} * 1{,}20 \ \frac{\text{g } H_2O_2}{\text{L de agua}} = 2\,400{,}00 \text{ g } H_2O_2$$

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

$$\text{Efluentes}_{1.3} = 2\,000 \text{ L} + \text{Na(OH)} + \text{Res} + \ H_2O_2 - \text{agua en tela} + \text{impureza del descrude}$$

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

$$\text{Efluentes}_{1.3} = 1\,784{,}70 \text{ kg}$$

Balance de agua en proceso de enjuague:

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

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación poliéster:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{Cazs} = \text{kg de tela} * 0{,}56\ \frac{\text{g de Cazs}}{\text{kg de tela}}$$

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

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

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

$$\text{Cac} = \text{kg de tela} * 0{,}01\ \frac{\text{g de Cac}}{\text{kg de tela}}$$

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

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

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

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

Balance de agua en proceso de enjuague:

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

Balance de reactivos y agua utilizados en Tinturación del algodón:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{NaCl} = 2\ 000\ \text{L} *\ 50{,}00\ \frac{\text{g de sal industrial}}{\text{L de agua}} = 10\ 0000{,}00\ \text{g}$$

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

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 =\ 2\ 000\ \text{L} *\ 5{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{L de agua}} = 1\ 000{,}00\ \text{g}$$

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

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

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

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

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

Balance de reactivos y agua para neutralizado:

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

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

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

Balance de agua en proceso de lavado:

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

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

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

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

Balance de agua en proceso de 4 enjuagues:

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

Balance de agua en proceso de fijación:

$$CH_3COOH = \ 2\,000\ \text{L} * \ 0{,}30\ \frac{\text{g}}{\text{L de agua}}$$

$$CH_3COOH = 0{,}60\ \text{kg}$$

$$\text{Qym} = \text{Reactivo AV FIX PF 20}$$

$$\text{Qym} = 2\,000\ \text{L} * 1{,}00\ \frac{\text{g de reactivo}}{\text{L de agua}} = 2\,000\ \text{g}$$

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

$$\text{Efluentes}_{8} = 2\,000\ \text{L agua} * 0{,}993\ \frac{\text{kg}}{\text{L}} + 2{,}60\ \text{kg} = 1\,988{,}60\ \text{kg}$$

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

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

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

AI.3 BALANCE DE MASA DEL HIDROEXTRACTOR

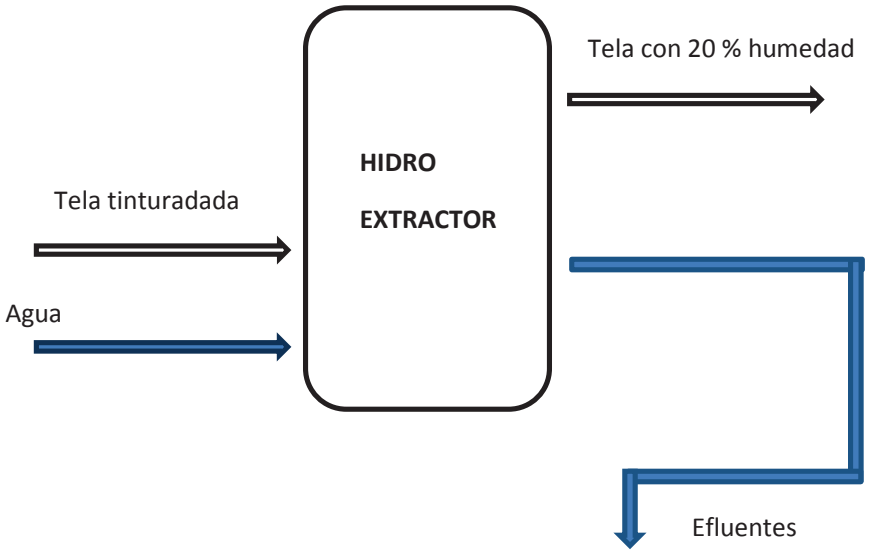


Figura AI.7 Balance de masa en la máquina hidroextractora

Datos:

Porcentaje de humedad en la tela: 20 %

Presión de rodillos: 4,5 bar.

Balance de agua en la tela:

$$\text{Tela tinturada total} = 2\,875{,}18 \text{ kg}$$
$$\text{Agua en la tela tinturada} = 1{,}50 * \text{total tela cruda}$$

$$\text{Agua en la tela tinturada} = 1{,}50 * 1\,178{,}86 \text{ kg} = 1\,768{,}29 \text{ kg de agua}$$
$$\text{Agua en tela} = 20\ \% \text{ agua en la tela tinturada}$$

$$\text{Agua en tela} = 0{,}20 * 1\,768{,}29 \text{ kg}$$

$$\text{Tela exprimida} = 353{,}66\ \text{kg}$$

$$\text{Tela a Secadora} = \text{tela tinturada} - \text{agua en la tela tinturada} + \text{agua en tela}$$

$$\text{Tela a secadora} = 2\ 875{,}18\ \text{kg} - 1\ 768{,}29\ \text{kg} + 353{,}66\ \text{kg}$$

$$\text{Tela a secadora} = 1\ 460{,}55\ \text{kg}$$

$$\text{Efluentes} = 720\ \text{kg} + 80\ \% * 1\ 768{,}29\ \text{kg}$$

$$\text{Efluentes} = 2\ 134{,}63\ \text{kg}$$

ANEXO II

BALANCE DE ENERGÍA

AII.1 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 descrude 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 AII.1.

Tabla AII.1. Especificaciones de temperatura para el proceso de descrude

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, Anexo A).

Aplicando la Ecuación AII.1. se tiene:

$$m_{vapor} = \frac{m_{agua} * \overline{Cp}_{agua} * \Delta T}{Lp} \quad [AII.1]$$

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

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

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 descrude.

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

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 AII.2.

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

Utilizando la Ecuación AII.1. se tiene:

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

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

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.

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

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 AII.3.

Tabla AII.3. 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 AII.1. se tiene:

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

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

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.

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

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 AII.4.

Tabla AII.4. 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 AII.1. se tiene:

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

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

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.

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

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 realizara el cálculo para un solo equipo,

las condiciones de trabajo serán las mimas especificadas en las Tablas AII.1. - AII.4. debido a que se trabajan con las mismas condiciones establecidas en las curvas de tinturación.

Para el proceso de descrude 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 AII.1., aplicando la Ecuación AII.1. se obtiene:

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

$$m_{vapor} = 239{,}83\ \text{kg}$$

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

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 AII.2., aplicando la Ecuación AII.1. se obtiene:

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

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

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

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 AII.3., aplicando la Ecuación AII.1. se obtiene:

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

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

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

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 AII.4., aplicando la Ecuación AII.1. se obtiene:

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

$$m_{vapor} = 159{,}77\ \text{kg}$$

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

AII.2 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 establecido en la Tabla 4.23. la cual detalla los parámetros de la secadora Heliot, los parámetros de trabajo a considerar están detallados en la Tabla AII.5.

Tabla AII.5. 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 AII.2. en donde se relaciona la entalpia 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, Anexo A) y están especificados en la Tabla AII.6.

Tabla AII.6. 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

$$\dot{m}_{aire} = \frac{\dot{m}_{agua} * \overline{Cp}_{agua} * \Delta T + Lp}{\overline{Cp}_{aire} * \Delta T} \qquad [AII.2]$$

$$\dot{m}_{aire} = \frac{170\,\frac{kg}{h} * \ 4\,200\,\frac{J}{kg°C} \ * \ (91 - 15)°C + \ 2{,}28 * 10^6\,\frac{J}{kg}}{1\,007\,\frac{J}{kg°C} * \ (130 - 20)°C}$$

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

Para la determinación del flujo de vapor se igualó las entalpias entre el aire que ingresa al equipo y el vapor necesario para calentar el aire, los datos se muestran en la Tabla AII.7. y el cálculo del flujo de vapor está dado por la Ecuación AII.3.

Tabla AII.7. Especificación del aire y del vapor

Parámetro	Cantidad	Unidad
Temperatura ambiente	20	°C
Temperatura del vapor	160	°C
Capacidad calórica media del aire	1 007	J/kg °C
Calor latente del vapor a 160 °C	2,09E+06	J/kg

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{\dot{m}_{aire} * \overline{Cp}_{aire} * \Delta T}{Lp} \qquad [AII.3]$$

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{510{,}46\ \frac{kg}{h} * \ 1\ 007 \frac{J}{kg°C}\ * (160 - 20)°C}{2{,}09 * 10^6 \frac{J}{kg}}$$

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

ANEXO III

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS PRINCIPALES

AIII.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE TINTURACIÓN

Para el dimensionamiento del tanque de tinturación, se considera la relación del baño establecida en la receta la cual es de 1/7 (kg tela/L agua), el equipo de tinturación Fong's posee la mayor capacidad de tela por lo que su requerimiento de agua es de 2 600 L tal como se explica en el Anexo I, también para la obtención del volumen nominal se consideró un factor de seguridad del 25 % (Peters y Timmerhaus, 2002, p. 37).

Determinación del volumen nominal del tanque de tinturación:

$$V_{nominal} = V_{operación} \times \text{factor de seguridad}$$

$$V_{nominal} = 2{,}60\ m^3 \times 1{,}25$$

$$\mathbf{V_{nominal} = 3{,}25\ m^3}$$

En la Tabla AIII.1. se indica las dimensiones del tanque de tinturación que debe poseer cada equipo Overflow.

Tabla AIII.1. Dimensiones del tanque de tinturación

H (m)	D (m)	V nominal (m^3)
1,00	1,00	0,79
2,00	1,30	2,65
2,79	**1,22**	**3,25**

Determinación del espesor del tanque de tinturación:

El tanque de tinturación se debe construir a partir de acero inoxidable 316 debido a la normativa ASTM A 516 como se indica en los criterios de diseño establecidos

en el capítulo 3, para el cálculo del espesor se trabaja con la Ecuación 3.1 y se considera como máxima tensión permisible 21 000 lbf/in^2, según lo establecido en la Tabla 3.10. y la norma API 620.

Entonces, al reemplazar los valores en la Ecuación 3.1, se tiene:

$$t_t = \frac{1\,000{,}00\,\frac{kg}{m^3} \times 2{,}80\ m \times 9{,}81\,\frac{m}{s^2}}{2 \times 149{,}46\,\frac{N}{mm^2} \times 1} \times \frac{1{,}18\ m}{1\,000}$$

$$\mathbf{t_t = 0{,}11\ mm}$$

Determinndo la velocidad de giro de la cuerda:

Para la determinación de la velocidad de giro a la cual debe circular la tela dentro del autoclave de tinturación, se utiliza la Ecuación AIII.1.

$$v = \frac{Rt * P}{t} \qquad \text{[AIII.1]}$$

Dónde:

v: velocidad de circulación de la tela (m/min)
Rt: rendimiento de la tela (m/kg)
P: peso de la tela (kg)
t: tiempo que se demora la cuerda en dar un giro completo (min)

Para la determinación del peso de la tela se consideró el total de tela que se carga a cada equipo autoclave y se determinó un peso promedio, mientras que el tiempo de giro se planteó de 3 minutos (Lockuán, 2012, p. 40), el rendimiento de la tela se la adquirió como un dato por parte de la empresa.

Entonces, se tiene el siguiente resultado:

$$v = \frac{2{,}4\ \frac{m}{kg} \times 250\ kg}{3\ min}$$

$$v = 200{,}00 \frac{m}{min}$$

AII.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS INTERCAMIADORES DE CALOR CON CAMBIO DE FASE PARA LOS TANQUES DE TINTURACIÓN

Partiendo del volumen del tanque de tinturación del equipo Fong's se procede a calcular el flujo que circulara por los intercambiadores:

$$\dot{m}_{agua} = m_{agua}/tiempo$$

$$\dot{m}_{agua} = 2\,600\ L \frac{1\ m^3}{1\,000\ L} \times \frac{998{,}83\ kg}{1\ m^3} \times \frac{1}{41\ min} \times \frac{60\ min}{1\ h}$$

$$\dot{m}_{agua} = 3\,800{,}43\ \frac{kg}{h} = 1{,}05\ \frac{kg}{s}$$

Para el flujo de vapor se considera el proceso de tinturación del poliéster debido que es en dicho proceso donde se tienen las máximas condiciones de operación del equipo de tinturación obtenido del balance de energía:

$$\dot{m}_{vapor} = m_{vapor}/tiempo$$

$$\dot{m}_{vapor} = 6\,486{,}02\ \frac{kg}{h}$$

El vapor necesario para los intercambiadores proviene de una fuente fija de combustión como es el caldero, la temperatura a la que el vapor ingresa a los intercambiadores es de 160 °C con lo cual se puede determinar su calor latente de ebullición el cual es de 2,09 *10^6 J/kg (Mills F., 1995, p. 881).

Las consideraciones que se tienen en el intercambiador, es que el vapor va a circular por el lado de la coraza mientras que el agua del equipo de tinción lo realizara por el lado de los tubos, como el agua de baño del equipo de tinción posee colorantes adicionalmente se colocara un filtro para evitar que material particulado circule por el intercambiador, en la Tabla AIII.2. se puede apreciar las temperaturas del fluido caliente como las del fluido frio (kuppan T., 2013, pp. 33-70).

Tabla AIII.2. Temperaturas del fluido caliente y frio

Fluido	**Temperatura de entrada (°C)**	**Temperatura de salida (°C)**
Vapor	160	160
Agua de tinturación	40	130

Posteriormente se procede a calcular la eficiencia del intercambiador, el cual debe estar por encima del 70 % para justificar el diseño, considerando que el fluido caliente es el vapor y que el fluido frío es el agua de tinturación se aplica la Ecuación AIII.3. (Holman J.P., 1999, p. 503).

$$\text{Eficiencia} = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}} * 100 \qquad [\text{AIII. 3.}]$$

Donde

Tce: temperatura del fluido caliente de entrada (°C)
Tcs: temperatura del fluido caliente de salida (°C)
Tfe: temperatura del fluido frio de entrada (°C)
Tfs: temperatura del fluido frio de salida (°C)

Teniendo así un factor de corrección de fr = 0,9.

$$\text{Eficiencia} = \frac{130\ °C - 40\ °C}{160\ °C - 40\ °C} * 100 = 75\ \%$$

Al ser el rendimiento mayor al 70 % queda justificado el uso y diseño de un intercambiador de calor con cambio de fase y paso 1-2.

Calculo de la temperatura media logarítmica:

La temperatura media logarítmica se procede a calcular con la Ecuación AIII.4.

$$\mathrm{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\mathrm{Ln}(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \qquad [\,\mathrm{AIII.4.}\,]$$

Donde

ΔT_1: temperatura del vapor menos la temperatura del agua de entrada (°C)

ΔT_2: temperatura del vapor menos la temperatura del agua de salida (°C)

$$\mathrm{LMTD} = \frac{(160 - 40)°\mathrm{C} - (160 - 130)°\mathrm{C}}{\mathrm{Ln}((160 - 40)°\mathrm{C}/(160 - 130)°\mathrm{C}))}$$

$$\mathrm{LMTD} = 64{,}92\ °\mathrm{C}$$

Cálculo de la temperatura media del agua de baño y la temperatura de pared en los tubos:

$$\mathrm{Tm} = \frac{T_{fs} + T_{fe}}{2}$$

$$\mathrm{Tm} = \frac{130\ °\mathrm{C} + 40\ °\mathrm{C}}{2} = 85{,}00\ °\mathrm{C}$$

$$\mathrm{Tp} = \frac{\mathrm{Tm} + T_{vapor}}{2}$$

$$\mathrm{Tp} = \frac{85\ °\mathrm{C} + 160\ °\mathrm{C}}{2} = 122{,}50\ °\mathrm{C}$$

Con la temperatura de pared (Tp) se procede a obtener las propiedades del condensado las cuales están establecidas en la Tabla AIII.3. (Mills, 1995, Anexo A).

Tabla AIII.1. Propiedades del condensado a temperatura de pared

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad condensado	941	kg/m3
Densidad del vapor	3,42	kg/m3
Conductividad térmica	0,68	W/m°C
Viscosidad	0,000234	kg/m s
c (número de condensado)	0,943	---

Considerando que el intercambiador tiene una longitud de 1,60 m, y que el condesado trabaja en flujo crítico, se obtiene que el flujo másico corregido es de:

$$\dot{m}_{vapor} = (1\,800 * \mu * L)/4$$

Donde

μ: viscosidad del condensado a Tp (kg/m.s)

L: longitud del intercambiador (m)

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{(1\,800 * 0{,}000234 \frac{kg}{m.\,s} * 1{,}60\ m)}{4} = 0{,}168 \frac{kg}{s}$$

Por lo tanto la masa de vapor en el estado crítico es de 0,168 kg/s o 604,80 kg/h.

Cálculo del calor que se transfiere entre el vapor y el agua de tinturación:

$$Q = \lambda * \dot{m}_{vapor}$$

Donde

λ: calor latente de condensación (J/kg)

$$Q = \ 2{,}09 * 10^6 \frac{J}{kg} * 0{,}168 \frac{kg}{s} = 351\ 120{,}00\ W$$

Cálculo del área de transferencia del intercambiador:

$$Q = \ A * U_{operación} * LMTD$$

El coeficiente global de transferencia de masa de operación (sucio) será determinado mediante la Tabla 3.11. establecida en el Capítulo 3.

El intercambiador a usar será de coraza y tubos con una relación de paso de 1-2 respectivamente, posteriormente se procede a calcular el factor de corrección del intercambiador mediante con lo cual es necesario utilizar los factores R y S mediante las Ecuaciones AIII.1. y AIII.2. :

$$R = \frac{T_{ve} - T_{vs}}{T_{as} - T_{ae}} \qquad [\ AIII.1.\ ]$$

$$S = \frac{T_{as} - T_{ae}}{T_{ve} - T_{ae}} \qquad [\ AIII.2.\ ]$$

Donde

Tve: temperatura del vapor de entrada (°C)
Tae: temperatura del agua de tinturación de entrada (°C)
Tvs: temperatura del vapor de salida (°C)
Tas: temperatura del agua de tinturación de salida (°C)

$$R = \frac{160\ °C - 160\ °C}{130\ °C - 40\ °C} = 0$$

$$S = \frac{130\ °C - 40\ °C}{160\ °C - 40\ °C} = 0{,}75$$

Debido a que el factor R es un valor de cero se asume como factor de corrección 1.

$$\mathrm{A} = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{U}_{operación} * \mathrm{LMTD} * \mathrm{fr}}$$

$$\mathrm{A} = \frac{351\ 120{,}00\ \mathrm{W}}{2\ 128{,}80 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2 °C}} * 64{,}92\ °\mathrm{C} * 1} = 2{,}54\ \mathrm{m^2}$$

Posteriormente para el diseño del intercambiador se selecciona el tamaño nominal de las tuberías a utilizar, se seleccionará tuberías de ½ in de tamaño nominal cuyo diámetro externo es de 0,84 in y diámetro interno es de 0,54 in

Los tubos tendrán un arreglo en cuadro lo cual es recomendado para casos de transferencia con cambio de fase (Holman, 1999, pp. 458-459). cuyo paso entre tubo y tubo se calculó a partir del diámetro de los tubos.

$$\text{Paso entre tubos} = 2{,}5 * \mathrm{de}$$

Donde

de: diámetro externo del tubo (in)

$$\text{Paso entre tubos} = 2{,}5 * 0{,}84\ \mathrm{in} = 2{,}10\ \mathrm{in}$$

Calculo del número de tubos:

Para determinar el número de tubos que deben ir en el banco de tubos se empleará la Ecuación 3.3. establecida en el Capítulo 3.

$$\#\mathrm{tubos} = \mathrm{n} = \frac{paso * A}{\left(2 * \pi * \frac{\mathrm{de}}{2} * L\right)}$$

Con lo cual el diámetro externo del tubo debe estar expresado en metros, y el número 2 hace referencia al número de pasos por el lado de los tubos.

$$\#\text{tubos} = \text{n} = \frac{2 * 2{,}54\ \text{m}^2}{\left(\pi *\ 0{,}84\ in * \frac{0{,}3048\ m}{12\ in} * 1{,}60\ m\right)} = 48$$

Para el cálculo del diámetro interno de la coraza y del espacio entre deflectores se consideró que se trata de un arreglo en cuadro.

$$\text{D}_{\text{coraza}} = \left(\sqrt{(\text{n})} * \text{pt} + \text{de}\right) + \text{pt}$$

Donde:

pt: paso entre tubos (in)
n: número de tubos
de: diámetro externo del tubo (in)

$$\text{D}_{\text{coraza}} = \left(\sqrt{(48)} * 2{,}10\ \text{in} + 0{,}84\ \text{in}\right) + 2{,}10\ \text{in}$$

$$\text{D}_{\text{coraza}} = 17{,}49\ \text{in}$$

A partir de la temperatura media del fluido frio (agua de tinturación) se procede a calcular la velocidad del agua al interior de los tubos, el número de Reynolds, numero de Nuselt y el coeficiente de convección interna (hi).

Para el cálculo de la velocidad y el número de Reynolds se emplea las propiedades del agua a temperatura media establecida en la Tabla AIII.4. (Mills, 1995, Anexo A).

Tabla AIII.4. Propiedades del agua a temperatura media

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	967	kg/m^3
Capacidad calórica	4 200	J/kg.°C
Pr	2	---
Viscosidad	0,000329	kg/m s
Conductividad térmica	0,676	W/m.°C

Cálculo de la velocidad al interior de los tubos:

La velocidad calculada debe coincidir con los parámetros de diseño establecidos en la Tabla 3.12. donde para fluidos no viscosos la velocidad al interior de los tubos tiene que ser entre 2-5 ft/s.

$$\mathrm{Ai} = \pi * \frac{\mathrm{di}^2}{4} * \frac{\mathrm{n}}{2}$$

$$\mathrm{Ai} = \pi * \frac{(0{,}54\ \mathrm{in})^2}{4} * \frac{(0{,}3048\ \mathrm{m})^2}{(12\ \mathrm{in})^2} * \frac{48}{2} = 0{,}001\ \mathrm{m}^2$$

Donde n/2 hace referencia al número de tubos divido por el número de pasos en los tubos.

El cálculo de la velocidad se lo realiza mediante la Ecuación 3.4.

$$\mathrm{v} = \frac{\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{agua}}}{\delta \times \mathrm{At}}$$

$$\mathrm{v} = \frac{\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{agua}}}{\delta \times \mathrm{At}}$$

$$\mathrm{v} = \frac{1{,}05\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}}{967{,}00\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \times 0{,}001\ \mathrm{m}^2} = 1{,}09\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

$$v = 1{,}09\ \frac{m}{s} * \frac{3{,}28\ ft}{1\ m} = 3{,}58 \frac{ft}{s}$$

Cálculo de la longitud característica utilizada en los números adimensionales:

$$L^* = \frac{4 * (Pt^2 - Ae)}{\pi * de}$$

Donde

L^*: longitud característica (in)

Pt: paso entre los tubos (in)

Ae: área externa del tubo (in^2)

$$L^* = \frac{4 * ((2{,}10\ in)^2 - \pi * \frac{(0{,}84 in)^2}{4})}{\pi * 0{,}84} = 5{,}84\ in$$

$$L^* = 5{,}84\ in * \frac{0{,}3048\ m}{12\ in} = 0{,}15\ m$$

Calculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{\delta * v * L^*}{\mu}$$

$$Re = \frac{967{,}00\ \frac{kg}{m^3} * 1{,}09 \frac{m}{s} * 0{,}15\ m}{0{,}000329 \frac{kg}{m.s}} = 480\ 560{,}79$$

Calculo del número de Nuselt:

$$Nu = 0{,}023 * Pr^{0{,}4} * Re^{0{,}8}$$

$$Nu = 0{,}023 * 2{,}00^{0{,}4} * 480\ 560{,}79^{0{,}8} = 1\ 065{,}46$$

Calculo del número del coeficiente de convección interna (hi):

$$\mathrm{hi} = \frac{\mathrm{k} * \mathrm{Nu}}{\mathrm{di}}$$

Donde

de: diámetro externo (m)

k: conductividad térmica (W/m.°C)

$$\mathrm{hi} = \frac{0{,}676 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m.°C}} * 1\,065{,}46}{0{,}54\ \mathrm{in} * \frac{0{,}3048\ \mathrm{m}}{12\ \mathrm{in}}} = 52\,511{,}73 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2.°C}}$$

$$\mathrm{hic} = \mathrm{hi} * \frac{\mathrm{di}}{\mathrm{de}}$$

$$\mathrm{hic} = 52\,511{,}73 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2.°C}} * \frac{0{,}54\ \mathrm{in}}{0{,}84\ \mathrm{in}} = 33\,757{,}54\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2.°C}}$$

Cálculo del coeficiente del convección del condensado a temperatura de pared (Tp).

En el lado de la coraza el vapor transfiere su calor latente al agua de tinturación, con lo cual se produce un cambio de fase por ende se procede a calcular el coeficiente de convección del vapor mediante la Ecuación AIII.5. (Holman, 1999, p. 457).

$$\mathrm{hc} = \mathrm{c} * \left[\frac{\delta * (\delta - \delta\mathrm{v}) * \mathrm{k}^3 * g * \lambda}{\mu * \mathrm{L} * (\mathrm{Tv} - \mathrm{Tp})} \right]^{\frac{1}{4}} \qquad [\,\mathrm{AIII.5.}\,]$$

Donde

δ: densidad del condensado a Tp (kg/m^3)

δv: densidad del vapor (kg/m^3)

c: número de consendado

k: conductividad térmica del condensado (W/m.°C)

L: longitud del intercambiador (m)

μ: viscosidad del condensado (kg/m.s)

Para la resolución de la Ecuacion AIII.5. se reemplaza los datos según lo establecido en la Tabla AIII.3.

$$\mathrm{hc} = 0{,}943 * \left[\frac{941{,}00\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} * (941{,}00 - 3{,}42)\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} * \left(0{,}68\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m.°C}}\right)^3 * 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} * 2{,}09 * 10^6\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}}{0{,}000234\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m.s}} * 1{,}60\ \mathrm{m} * (160{,}00 - 122{,}50)°\mathrm{C}}\right]^{\frac{1}{4}}$$

$$\mathrm{hc} = 4\,230{,}63\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2.°\mathrm{C}}$$

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor limpio (U_L).

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se basa en la Ecuación 3.5.

$$\mathrm{U_L} = \frac{1}{\mathrm{hi}^{-1} + \mathrm{he}^{-1}}$$

$$\mathrm{U_L} = \frac{1}{\mathrm{hic}^{-1} + \mathrm{hc}^{-1}}$$

$$\mathrm{U_L} = \frac{1}{\left(33\,757{,}54\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2.°\mathrm{C}}\right)^{-1} + \left(4\,230{,}63\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2.°\mathrm{C}}\right)^{-1}}$$

$$\mathrm{U_L} = 3\,759{,}47\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2.°\mathrm{C}}$$

Calculo la resistencia al ensuciamiento.

El coeficiente de ensuciamiento es un valor que debe incluirse al coeficiente de transferencia global y éste permite analizar el efecto que tiene las incrustaciones o depósitos que se adhieren a las superficies de los tubos y que afectan el proceso de transferencia de calor, el valor de la resistencia al ensuciamiento debe estar en un rango de 0,0002 – 0,0010 (°C.m^2/W) tal como se especifica en la Tabla 3.13 del Capítulo 3.

Para calcular la resistencia al ensuciamiento se utilizó la Ecuación 3.6.

$$\mathrm{Re} = \frac{1}{\mathrm{Us}} - \frac{1}{\mathrm{U_L}}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{1}{2\,128{,}80\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2°C}}} - \frac{1}{3\,759{,}47\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2.°C}}}$$

$$\mathrm{Re} = 0{,}0002\ \frac{\mathrm{m^2°C}}{\mathrm{W}}$$

AIII.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA HIDROEXTRACTORA

La bandeja de remojo debe cubrir un volumen necesario para 720 kg de agua equivalentes a 725,07 L con base a los balances de masa establecidos en el anexo AI.1., la bandeja debe tener un ancho mayo al ancho de la tela el cual es de 1,80 m mientras que su cálculo se lo realizó mediante geometría considerando el volumen y el ancho de la tela con un 25 % de exceso en su longitud según lo establecido en la Ecuación AIII.5. (Soto, 2003, p.123).

$$\mathrm{V}_{bandeja} = \mathrm{base} * \mathrm{altura} * \mathrm{ancho} \qquad [\,\mathrm{AIII.6.}\,]$$

$$725{,}07\ \mathrm{L} = (1{,}80\ \mathrm{m} + 25\ \%) * \mathrm{altura} * 0{,}50\ \mathrm{m}$$

$$\mathrm{altura} = 725{,}07\ \mathrm{L} * \frac{\frac{1\ \mathrm{m^3}}{1\,000\ \mathrm{L}}}{(1{,}80\ \mathrm{m} * +25\ \%) * 1{,}00\ \mathrm{m}} = 0{,}32\ \mathrm{m}$$

Para el dimensionamiento de los rodillos se procede a calcular el espesor de la tela Dumba, los datos de las mediciones del espesor fueron proporcionados por la empresa, los datos se encuentran tabulados en la Tabla AIII.5.

Tabla AIII.5. Espesor de la tela dumba

medición	Espesor (mm)
1	0,792
2	0,781
3	0,782
4	0,787
5	0,790
6	0,711
7	0,804
8	0,810
9	0,796
10	0,807

Para calcular el valor promedio con un error aceptable se emplea la Ecuación AIII.7 (Vivanco M., 2005, p. 44-49).

$$\bar{x} \pm z_{\propto/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \qquad [\text{AIII. 7}]$$

Donde

$\bar{x}$: valor del espesor promedio (mm)

$z_{\propto/2}$: constante del nivel de confianza aceptado

s: valor estándar (mm)

n: número de muestras

La desviación estándar se calcula mediante la Ecuación AIII.8

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \qquad [\text{AIII. } 8]$$

Donde

$\bar{x}$: valor del espesor promedio (mm)

x: valor del espesor en cada muestra

n: número de muestras

En la Tabla AIII.6. se muestran los valores obtenidos para el promedio y la desviación estándar.

Tabla AIII.6. Promedio y desviación estándar del espesor

Especificación	**(mm)**
Promedio	0,786
desviación estándar	0,028

Considerando un nivel de confianza del 90 % se tiene que $z_{\propto/2}$ es igual 1,645 (Vivanco, 2005, p. 46).

$$\bar{x} \pm z_{\propto/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$0{,}786 \pm 1{,}645 \frac{0{,}028 \text{ mm}}{\sqrt{10}}$$

$$0{,}786 \pm 0{,}015 \text{ mm}$$

Cálculo de la velocidad angular de los rodillos en base a la Ecuación 3.7. establecida en el Capítulo 3.

$$\omega = \frac{V}{r}$$

$$\omega = \frac{7\ \frac{\text{m}}{\text{min}} * \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}}{45\ \text{cm} * \frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}} = 0{,}26\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Cálculo de la Potencia que ejercen los rodillos.

Para el cálculo de la potencia que ejercen los rodillos se procede a calcular la fuerza mediante la Ecuación 3.8. considerando que los rodillos ejercen una presión de 4,5 bar, el ancho de la tela dumba sin calandrar es de 107 cm.

La longitud de contacto entre el material y el rodillo se lo determina mediante la Ecuación AIII.9 (Groover, 2000, pp. 448-456).

$$\text{L} = \sqrt{\text{R} * (\text{Ho} - \text{Hf})} \qquad [\text{AIII. 9.}]$$

Donde

L: longitud de contacto (mm)
R: radio del cilindro (mm)
Ho: espesor inicial (mm)
Hf: espesor final (mm)

El espesor inicial se considera el espesor de la tela dumba establecido en la Tabla AIII.5. mientras que el espesor final se considera el 75 % del espesor promedio ya que al momento de pasar por los rodillos este se reduce en un 25 % (Hull D., 2003, pp. 100-101).

Cálculo de la longitud de contacto:

$$\text{L} = \sqrt{\text{R} * (\text{Ho} - \text{Hf})}$$

$$\text{L} = \sqrt{450\ \text{mm} * (0{,}801 - 0{,}601)\text{mm}} = 9{,}49\ \text{mm}$$

Cálculo de la fuerza:

$$F = a \times p \times L$$

$$F = 1{,}07\ \text{m} * 4{,}5\ \text{bar} * \frac{101\ 325\ \text{Pa}}{1\ \text{bar}} * 9{,}49\ \text{mm} * \frac{1\ \text{m}}{1\ 000\ \text{mm}} = 4\ 629{,}98\ \text{N}$$

El cálculo de la potencia de los rodillos se obtiene mediante la Ecuación 3.9 establecida en el Capítulo 3.

$$P = 2\pi \times \omega \times F \times L$$

$$P = 2\pi \times 0{,}26\ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 4\ 629{,}98\ \text{N} \times 9{,}49\ \text{mm} * \frac{1\ \text{m}}{1\ 000\ \text{mm}} = 71{,}78\ \text{w}$$

$$P = 0{,}10\ \text{hp}$$

AIII.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA RAMA SECADORA

Determinación de la banda transportadora:

La banda transportadora será seleccionada de acuerdo al ancho de la tela tomando en consideración el tipo de material y un exceso de la tela.

El material de poli-algodón es un material ligero no abrasivo por lo que la relación entre la velocidad y el ancho de la banda será determinada mediante la Tabla 3.15. del Capítulo 3 en base a la norma DIN 22101 la cual especifica que para materiales no abrasivos con un ancho de banda de 2 000 mm la velocidad máxima a utilizar es de 5,24 m/min (DIN 22101, 2002, pp. 5-25) .

AIII.5 DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR CON CAMBIO DE FASE PARA LA SECADORA

Partiendo del balance de energía del Anexo AII.2. se obtiene que :

$$\dot{m}_{agua} = m_{agua}/tiempo$$

$$\dot{m}_{aire} = 510{,}46\ \frac{kg}{h} = 0{,}14\ \frac{kg}{s}$$

Para el flujo de vapor se consideró el balance de energía con lo cual se determinó que para la secadora el flujo de vapor es de:

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

Las consideraciones que se tienen en el caldero, es que el vapor va a circular por el lado de la coraza mientras que el aire lo realizará por el lado de los tubos, el aire ingresa a través de compresores propios del equipo, en la Tabla AIII.6. se puede apreciar las temperaturas del fluido caliente como las del fluido frío (Kuppan T., 2013, pp. 33-70).

Tabla AIII.7. Temperaturas del fluido caliente y frio en la secadora

Fluido	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)
Vapor	160	160
Aire	20	130

El intercambiador a usar será de coraza y tubos con una relación de paso de 1-1 respectivamente, debido a que se tiene el número de paso 1-1 no es necesario calcular el factor de corrección por lo cual fr se asume 1 (Incropera, 2007, p. 592).

Posteriormente se procede a calcular la eficiencia del intercambiador, el cual debe estar por encima del 70 % para justificar el diseño, considerando que el fluido caliente es el vapor y que el fluido frío es el aire que ingresa desde el ambiente hacia la cámara de convección de la secadora, se aplica la Ecuación AIII.3. (Holman, 1999, p. 503).

$$\text{Eficiencia} = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{130\ °C - 20\ °C}{160\ °C - 20\ °C} * 100 = 78{,}57\ \%$$

Al ser el rendimiento mayor al 70 % queda justificado el uso y diseño de un intercambiador de calor con cambio de fase y paso 1-1.

Cálculo de la temperatura media logarítmica:

La temperatura media logarítmica se procede a calcular con la Ecuación AIII.4.

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\text{Ln}(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(160 - 20)°C - (160 - 130)°C}{\text{Ln}((160 - 20)°C/(160 - 130)°C))}$$

$$\text{LMTD} = 71{,}41\ °C$$

Cálculo de la temperatura media del aire y la temperatura de pared en los tubos:

$$Tm = \frac{T_{fs} + T_{fe}}{2}$$

$$Tm = \frac{130\ °C + 20\ °C}{2} = 75{,}00\ °C$$

$$Tp = \frac{Tm + T_{vapor}}{2}$$

$$Tp = \frac{75\ °C + 160\ °C}{2} = 117{,}50\ °C$$

Con la temperatura de pared (Tp) se procede a obtener las propiedades del condensado las cuales están establecidas en la Tabla AIII.7. (Mills, 1995, Anexo A).

Tabla AIII.8. Propiedades del condensado a temperatura de pared en la secadora

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad condensado	941	kg/m3
Densidad del vapor	3,42	kg/m3
Conductividad térmica	0,68	W/m°C
Viscosidad	0,000234	kg/m s
c (número de condensado)	0,943	--

Considerando que el intercambiador de calor tiene una longitud de 1,40 m, no es necesario un intercambiador tan largo debido a que el flujo de aire que ingresa es muy pequeño considerando la cantidad de agua que se quiere remover de la tela húmeda.

Cálculo del calor que se transfiere entre el vapor y el agua de tinturación:

$$Q = \lambda * \dot{m}_{vapor}$$

Donde:

λ: calor latente de condensación (J/kg)

$$Q = 2{,}09 * 10^6 \frac{J}{kg} * 34{,}43 \frac{kg}{h} * \frac{1\ h}{3\ 600\ s} = 19\ 988{,}53\ W$$

Calculo del área de transferencia del intercambiador:

$$Q = A * U_{operación} * LMTD$$

El coeficiente global de transferencia de masa de operación (sucio) será determinado mediante la Tabla 3.11. establecida en el Capítulo 3.

$$A = \frac{Q}{U_{operación} * LMTD * fr}$$

$$A = \frac{19\ 988{,}53\ W}{90{,}00 \frac{W}{m^2 °C} * 71{,}41\ °C * 1} = 3{,}11\ m^2$$

Posteriormente para el diseño del intercambiador se selecciona el tamaño nominal de las tuberías a utilizar, se seleccionarán tuberías de ¼ in de diametro nominal cuyo diámetro externo es de 0,54 in y diámetro interno es de 0,36 in

Los tubos tendrán un arreglo en cuadro lo cual es recomendado para casos de transferencia con cambio de fase (Hollman J.P., 1999, pp. 458-459). cuyo paso entre tubo y tubo se calculó a partir del diámetro de los tubos.

$$\text{Paso entre tubos} = 2{,}5 * de$$

Donde

de: diámetro externo del tubo (in)

$$\text{Paso entre tubos} = 2{,}5 * 0{,}54\ \text{in} = 1{,}35\ \text{in}$$

Cálculo del número de tubos:

Para determinar el número de tubos que deben ir en el banco de tubos se empleará la Ecuación 3.3. establecida en el Capítulo 3.

$$\#\text{tubos} = \text{n} = \frac{A}{\left(2 * \pi * \frac{\text{de}}{2} * \text{L}\right)}$$

Con lo cual el diámetro externo del tubo debe estar expresado en metros

$$\#\text{tubos} = \text{n} = \frac{3{,}11\ \text{m}^2}{\left(\pi * \ 0{,}54\ \text{in} * \frac{0{,}3048\ \text{m}}{12\ \text{in}} * 1{,}40\ \text{m}\right)} = 52$$

Para el cálculo de del diámetro interno de la coraza y del espacio entre deflectores se consideró que se trata de un arreglo en cuadro.

$$\text{D}_{\text{coraza}} = \left(\sqrt{(\text{n})} * \text{pt} + \text{de}\right) + \text{pt}$$

$$\text{D}_{\text{coraza}} = \left(\sqrt{(52)} * 1{,}34\ \text{in} + 0{,}54\ \text{in}\right) + 1{,}34\ \text{in} = 11{,}54\ \text{in}$$

Donde:

pt: paso entre tubos (in)
n: número de tubos
de: diámetro externo del tubo (in)

Para el cálculo de la velocidad y el número de Reynolds se emplea las propiedades del agua a temperatura media establecida en la Tabla AIII.8. (Mills F., 1995, Anexo A).

Tabla AIII.9. Propiedades del aire a temperatura media

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	1,012	kg/m^3
Capacidad calórica	1 007	J/kg.°C
Pr	0,69	--
Viscosidad	0,00002054	kg/m s
Conductividad térmica	0,03	W/m.°C

Cálculo de la velocidad al interior de los tubos:

La velocidad calculada debe coincidir con los parámetros de diseño establecidos en la Tabla 3.12. donde para gases de baja densidad la velocidad al interior de los tubos tiene que ser entre 50-150 ft/s.

$$\mathrm{Ai} = \pi * \frac{\mathrm{di}^2}{4} * \mathrm{n}$$

$$\mathrm{Ai} = \pi * \frac{(0{,}36\ \mathrm{in})^2}{4} * \frac{(0{,}3048\ \mathrm{m})^2}{(12\ \mathrm{in})^2} * 52 = 0{,}0031\ \mathrm{m}^2$$

Donde “n” hace referencia al número de tubos.

El cálculo de la velocidad se lo realiza mediante la Ecuación 3.4.

$$\mathrm{v} = \frac{\dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{aire}}}{\delta \times \mathrm{At}}$$

$$\mathrm{v} = \frac{0{,}14\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}}{1{,}012\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \times 0{,}0031\ \mathrm{m}^2} = 44{,}62\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

$$\mathrm{v} = 44{,}62\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} * \frac{3{,}28\ \mathrm{ft}}{1\ \mathrm{m}} = 146{,}35\ \frac{\mathrm{ft}}{\mathrm{s}}$$

Cálculo de la longitud característica utilizada en los números adimensionales:

$$\mathrm{L}^* = \frac{4 * (\mathrm{Pt}^2 - \mathrm{Ae})}{\pi * \mathrm{de}}$$

Donde

L^*: longitud característica (in)

Pt: paso entre los tubos (in)

Ae: área externa del tubo (in^2)

$$L^* = \frac{4 * ((1{,}35\ \text{in})^2 - \pi * \frac{(0{,}54\text{in})^2}{4})}{\pi * 0{,}54} = 3{,}75\ \text{in}$$

$$L^* = 3{,}75\ \text{in} * \frac{0{,}3048\ \text{m}}{12\ \text{in}} = 0{,}09\ \text{m}$$

Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{\delta * v * L^*}{\mu}$$

$$Re = \frac{1{,}012\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 44{,}62\ \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0{,}09\ \text{m}}{0{,}0000205\ \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} = 198\,243{,}39$$

Cálculo del número de Nuselt:

$$Nu = 0{,}023 * Pr^{0{,}4} * Re^{0{,}8}$$

$$Nu = 0{,}023 * 0{,}69^{0{,}4} * 198\,243{,}39^{0{,}8} = 342{,}78$$

Calculo del número del coeficiente de convección interna (hi):

$$hi = \frac{k * Nu}{de}$$

Donde

de: diámetro externo (m)

k: conductividad termica (W/m.°C)

$$hi = \frac{0{,}03\ \frac{W}{\text{m.°C}} * 342{,}78}{0{,}54\ \text{in} * \frac{0{,}3048\ \text{m}}{12\ \text{in}}}$$

$$hi = 749{,}73\ \frac{W}{\text{m}^2\text{.°C}}$$

$$\text{hic} = \text{hi} * \frac{\text{di}}{\text{de}}$$

$$\text{hic} = 749{,}73 \frac{\text{W}}{\text{m}^2.\,°\text{C}} * \frac{0{,}36\ \text{in}}{0{,}54\ \text{in}} = 499{,}82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2.\,°\text{C}}$$

Cálculo del coeficiente del convección del condensado a temperatura de pared (Tp).

En el lado de la coraza el vapor transfiere su calor latente al agua de tinturación, con lo cual se produce un cambio de fase por ende se procede a calcular el coeficiente de convección del vapor mediante la Ecuación AIII.5. (Holman J., 1999, p. 457).

$$\text{hc} = \text{c} * \left[\frac{\delta * (\delta - \delta\text{v}) * \text{k}^3 * g * \lambda}{\mu * \text{L} * (\text{Tv} - \text{Tp})} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Para la resolución de la Ecuación AIII.5. se reemplazan los datos según lo establecido en la Tabla AIII.6.

$$\text{hc} = 0{,}943 * \left[\frac{941 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (941 - 3{,}42) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(0{,}68 \frac{\text{W}}{\text{m.}\,°\text{C}}\right)^3 * 9{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2{,}09 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}{0{,}000234 \frac{\text{kg}}{\text{m.\,s}} * 1{,}40\ \text{m} * (160 - 117{,}50)°\text{C}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$\text{hc} = 4\,239{,}50\ \frac{\text{W}}{\text{m}^2.\,°\text{C}}$$

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor limpio (U_L).

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se basa en la Ecuación 3.5.

$$\text{U}_\text{L} = \frac{1}{\text{hi}^{-1} + \text{he}^{-1}}$$

$$U_L = \frac{1}{hic^{-1} + hc^{-1}}$$

$$U_L = \frac{1}{\left(499{,}82\ \frac{W}{m^2.°C}\right)^{-1} + \left(4\,239{,}50\ \frac{W}{m^2.°C}\right)^{-1}}$$

$$U_L = 447{,}11 \frac{W}{m^2.°C}$$

Cálculo la resistencia al ensuciamiento.

El valor de la resistencia al ensuciamiento debe ingresar en un rango de aceptación de 0,0004 (°C.m^2/W) tal como se especifica en la Tabla 3.13 del Capítulo 3.

Para calcular la resistencia al ensuciamiento se utilizó la Ecuación 3.6.

$$Re = \frac{1}{Us} - \frac{1}{U_L}$$

$$Re = \frac{1}{90{,}00\ \frac{W}{m^2°C}} - \frac{1}{447{,}11 \frac{W}{m^2.°C}}$$

$$Re = 0{,}0088\ \frac{m^2°C}{W}$$

El coeficiente de ensuciamiento es muy grande en comparación con lo especificado en la Tabla 3.13. debido a la velocidad del aire a través de los tubos lo cual hace que aumente el coeficiente de convección interna.

AIII.6 DIMENSIONAMIENTO DE LA CALANDRA

Los rodillos de la calandra serán calculados en base a los mismos criterios que se utilizaron en el dimensionamiento de los rodillos de la hidroextractora, únicamente so tomará en cuenta los siguientes parámetros establecidos en la Tabla AIII.10.

Tabla AIII.10. Parámetros para el diseño de rodillos de la calandra

Parámetro	Cantidad	Unidad
Velocidad de los rodillos	5,3	m/min
Amplitud	134,5	cm
Relación de sobrealimentación	2	--
Temperatura	200	°C
Presión	6	bar

La temperatura de operación se la obtuvo mediante la Tabla 3.14. del Capítulo 3 en las cuales se fijan las condiciones de temperatura mínima y máxima para la termofijación del poliéster.

Cálculo de la velocidad angular de los rodillos en base a la Ecuación 3.7. establecida en el Capítulo 3.

$$\omega = \frac{V}{r}$$

$$\omega = \frac{5{,}3\ \frac{\text{m}}{\text{min}} * \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}}{55\ \text{cm} * \frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}} = 0{,}16\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Cálculo de la Potencia que ejercen los rodillos.

Para el cálculo de la potencia que ejercen los rodillos se procede a calcular la fuerza mediante la Ecuación 3.8. considerando que los rodillos ejercen una presión de 6 bar, el ancho de la tela dumba sin calandrar es de 118 cm.

La longitud de contacto entre el material y el rodillo se lo determina mediante la Ecuación AIII.9. (Groover, 2000, pp. 448-456).

$$L = \sqrt{R * (Ho - Hf)}$$

Para el cálculo de la longitud de contacto se utiliza el mismo espesor establecido en base a la Tabla AIII.5.

Cálculo de la longitud de contacto:

$$L = \sqrt{R * (Ho - Hf)}$$

$$L = \sqrt{550\ mm * (0{,}801 - 0{,}601)} = 10{,}49\ mm$$

Cálculo de la fuerza:

$$F = a \times p \times L$$

$$F = 1{,}18\ m \times 6\ bar * \frac{101\ 325\ Pa}{1\ bar} \times 10{,}49\ mm * \frac{1\ m}{1\ 000\ mm} = 7\ 525{,}32\ N$$

El cálculo de la potencia de los rodillos se obtiene mediante la Ecuación 3.9 establecida en el Capítulo 3.

$$P = 2\pi \times \omega \times F \times L$$

$$P = 2\pi \times 0{,}16\ \frac{rad}{s} \times 7\ 525{,}32\ N \times 10{,}49\ mm * \frac{1\ m}{1\ 000\ mm} = 496{,}66\ W$$

$$P = 0{,}66\ HP$$

ANEXO IIIV

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS SECUNDARIOS

AIV.1 SELECCIÓN DE LÍNEAS DE TUBERÍAS

La selección de la tubería de la línea de agua será correspondiente a la Tabla 3.12. del Capítulo 3, donde para una temperatura ambiente de 20 °C se utilizará una tubería de 2 pulgadas cuyo tamaño nominal será de 2 ½ pulgadas, considerando los espesores normalizados por la norma API RP 14E SECTION (API RP 14E, 1991, p. 44). Mientras que las tuberías de línea de agua que se usan como descarga de la bomba tendrán un diámetro de 1 ½ pulgadas cuyo tamaño nominal le corresponde 2 pulgadas en base a la Tabla 3.12.

La presión de diseño de las tuberías de agua serán consideradas como presiones por encima de la ambiental debido a que se encuentran fuera de los equipos autoclaves, por lo tanto su presión de operación es de 17,64 psi mientras que su presión de diseño equivale a un aumento del 10 % lo cual corresponde a 19,40 psi bajo la norma ASME B31.3 (ASME B31.3, 2010, pp. 11-21), el largo de las tuberías de agua están comprendidas entre los 12 a 16 metros tomando como referencia la distancia existente entre la cisterna y el área de tintorería.

Las tuberías correspondientes a las líneas de vapor deben ser diseñadas con material de acero inoxidable con el fin de que resistan altas temperaturas y no se genera oxidación, debido a que se está utilizando vapor es necesario recubrir la tubería con un aislante térmico, el diámetro de la tubería de vapor es de 1 ½ pulgadas mientras que su diámetro nominal, 3 pulgadas, en base a la Tabla 3.12. para temperaturas entre los 250 - 500 °F, mientras que su presión de operación será de 129, 7 psi correspondiente a la presión dentro del caldero, por lo tanto su presión de diseño debe ser 25 psi mayor a la presión de operación la cual

corresponde a una presión de diseño de 154,7 psi correspondiente a la norma ASME B31.3 (ASME B31.3, 2010, pp. 11-21).

AIV.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS BOMBAS

Dimensionamiento de las bombas P-101A/B, P-103A/B y P-104A/B

Para el dimensionamiento de estas tuberías se tomaran las siguientes consideraciones establecidas en la Tabla AIV.1.

Tabla AIV.1. Consideraciones para el dimensionamiento de las bombas

Propiedad	Valor	Unidad
Caudal	0,0017	m^3/s
Largo de la tubería (succión)	12	m
Largo de la tubería (descarga)	7	m
Altura de descarga	6	m

Posteriormente se procederá a calcular la altura de la bomba mediante la ecuación de Bernoulli la cual se obtiene mediante la Ecuación 3.10.

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{{v_1}^2}{2g}+Z_1+H_B=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{{v_2}^2}{2g}+Z_2+hf_{2^{1/2"}}+hf_{2"}+k_1\frac{{v_1}^2}{2g}+k_2\frac{{v_1}^2}{2g}+k_3\frac{{v_1}^2}{2g}+k_4\frac{{v_1}^2}{2g}+$$
$$+2k_1\frac{{v_2}^2}{2g}+k_2\frac{{v_2}^2}{2g}+k_3\frac{{v_2}^2}{2g}+k_5\frac{{v_2}^2}{2g} \qquad [3.10]$$

Para el cumplimiento de la velocidad de succión, se considera un diámetro nominal de 2 ½ ”, un diámetro interno de 2 pulgadas, mientras que para la tubería de descarga se considera un tamaño nominal de 2” con diámetro interno de 1 ½“ establecido en el Anexo AIV.1. con dichos diámetros se determinará la velocidad v_1 y v_2, como indica la Ecuación AIV.2. las cuales deben cumplir con las velocidades establecidas en la Tabla 3.17. del Capítulo 3.

$$v_i=\frac{Q}{A} \qquad [AIV.2]$$

Donde:

v_i: velocidad en el punto i (m/s)

Q: caudal del fluido (m^3/s)

A: área de la tubería perpendicular al flujo (m^2)

$$v_1 = 0{,}0017 \frac{m^3}{s} * \frac{1}{\pi\left(\frac{2\ in}{2}\right)^2} * \frac{(1\ in)^2}{(0{,}0254\ m)^2}$$

$$v_1 = 0{,}84 \frac{m}{s}$$

$$v_1 = 2{,}76 \frac{ft}{s}$$

Relacionando la velocidad de succión (v_1) con la Tabla 3.17. se puede determinar que la velocidad de succión se encuentra dentro del rango de diseño.

$$v_2 = 0{,}0017 \frac{m^3}{s} * \frac{1}{\pi\left(\frac{1\frac{1}{2}\ in}{2}\right)^2} * \frac{(1\ in)^2}{(0{,}0254\ m)^2}$$

$$v_2 = 1{,}49 \frac{m}{s}$$

$$v_2 = 4{,}88 \frac{ft}{s}$$

Relacionando la velocidad de descarga (v_2) con la Tabla 3.17. se puede determinar que la velocidad de descarga se encuentra dentro del rango de diseño.

Determinación de la pérdida de carga, de acuerdo con la ecuación de Darcy, Ecuación AIV.3.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \qquad \text{[AIV.3.]}$$

Donde:

h_f: cabeza de perdida (m)
f: coeficiente de rozamiento de Darcy
L: longitud de la tubería (m)
D: diámetro interno de la tubería (m)
v: velocidad del fluido (m/s)
g: gravedad (m/s^2)

Para la determinación de la pérdida de carga, se calcula previamente el coeficiente de rozamiento de acuerdo con la ecuación del número de Reynolds, Ecuación AIV.4.

$$Re = \frac{v \times \delta \times D}{\mu} \qquad \text{[AIV.4.]}$$

Donde:

Re: número de Reynolds
v: velocidad del fluido (m/s)
δ: densidad del fluido (kg/m^3)
D: diámetro interno de la tubería (m)
μ: viscosidad del fluido (kg/ms)

Por lo tanto, el número de Reynolds la tubería de succión es:

$$Re = \frac{0{,}84\,\frac{m}{s} \times 999\,\frac{kg}{m^3} \times 2\text{ in} \times \frac{0{,}0254\text{ m}}{1\text{ in}}}{11 * 10^{-4}\,\frac{kg}{m\,s}}$$

$$Re = 38\,753{,}93$$

Los datos de densidad y viscosidad del fluido fueron tomados del apéndice A del libro de Mills F., “Transferencia de Calor”.

Para el cálculo del factor de fricción (f) es necesario utilizar el diagrama Moody establecido en la Figura AIV.1 el cual da una relación entre la rugosidad específica estipulada en función del material de diseño de la tubería y el número de Reynolds para así encontrar el factor de fricción.

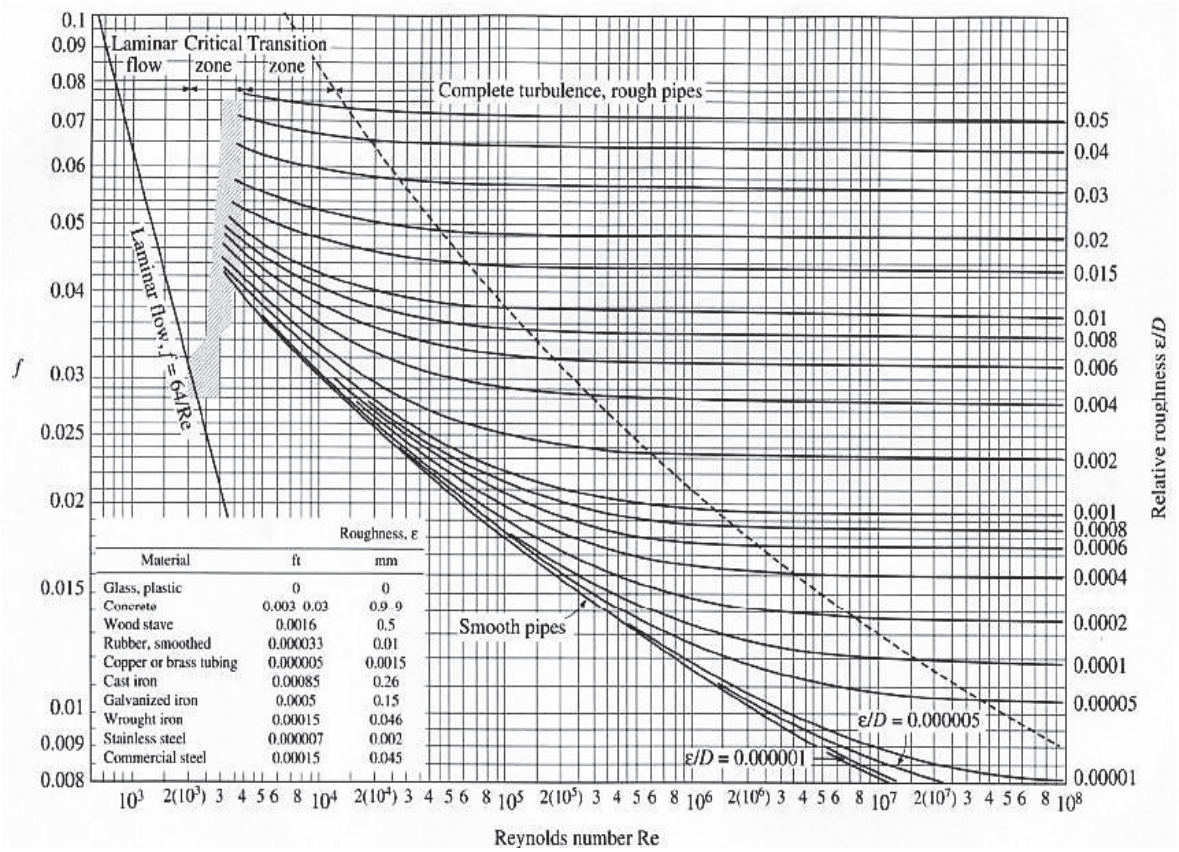


Figura AIV.1. Diagrama de Moody
(Mott, 2006, p. 236)

El transporte del fluido se lleva a cabo en una tubería de PVC, con esto se tiene un $\varepsilon = 0{,}00015\ \text{cm}$ (Mott, 2006, p. 236).

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0{,}00015\ \text{cm}}{2\ \text{in} \times \frac{2{,}54\ \text{cm}}{1\ \text{in}}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 3 \times 10^{-5}$$

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se determina el coeficiente de rozamiento de Darcy en el diagrama de Moody de la Figura AIV.1

$$f = 0{,}023$$

Al reemplazar los valores correspondientes en la Ecuación AIV.3, se tiene:

$$hf_{2"} = 0{,}023 \times \frac{12\ m}{2\ in \times \frac{0{,}0254\ m}{1\ in}} \times \frac{\left(0{,}84 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{m}{s^2}}$$

$$hf_{2"} = 0{,}19\ m$$

El número de Reynolds para un diámetro interno de 1 ½", la cual corresponde a la tubería de descarga se determina con la Ecuación AIV.4.

$$Re = \frac{1{,}49\ \frac{m}{s} \times 999 \frac{kg}{m^3} \times 1{,}5\ in \times \frac{0{,}0254\ m}{1\ in}}{11 * 10^{-4} \frac{kg}{m\ s}}$$

$$Re = 51\,556{,}57$$

El transporte del fluido en la sección de descarga se lleva a cabo en una tubería de acero Inoxidable, con esto se tiene un $\varepsilon = 0{,}015\ cm$.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0{,}015\ cm}{1{,}5\ in \times \frac{2{,}54\ cm}{1\ in}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0{,}004$$

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se determina el coeficiente de rozamiento f en el diagrama de Moody de la Figura AIV.1.

$$f = 0{,}03$$

De acuerdo con el espacio disponible en la planta, se considera una longitud de la tubería de 7,00 m.

Al reemplazar los valores correspondientes en la Ecuación AIV.3, y para un diámetro interno de 1 ½", se tiene:

$$hf_{1{,}5"} = 0{,}03 \times \frac{7{,}00\ \text{m}}{1{,}5\ \text{in} \times \frac{0{,}0254\ \text{m}}{1\ \text{in}}} \times \frac{\left(1{,}49\ \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hf_{1{,}5"} = 0{,}62\ \text{m}$$

En la Tabla AIV.2. se presenta la cantidad de accesorios que se utilizarán en las tuberías para los tanques TK-101, TK-103 y TK-104.

Tabla AIV.2. Accesorios para los tanques TK-101, TK-103 y TK-104

Perdidas en accesorio	Cantidad	Valor K
Válvula de bola	2	70,00
Válvula check (Completamente abierta)	2	2,50
Codo 90°	3	0,90
Salida de la tubería	1	1,00
Entrada de la tubería	1	0,50

(Streeter, 2000, p. 300)

Al tratarse de un sistema abierto, es decir que tanto en el punto 1 como en el punto 2 se considera la presión atmosférica, la caída de presión se considera nula por lo tanto reemplazando los valores correspondientes en la Ecuación AIV.1. y despejando la altura de bomba se tiene:

$$H_B = \frac{0{,}72\ \text{atm} \cdot \frac{101\,325\ {}^{N}/_{m^2}}{1\ \text{atm}}}{999\frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81\frac{m}{s^2}} - \frac{0{,}72\ \text{atm} \cdot \frac{101\,325\ {}^{N}/_{m^2}}{1\ \text{atm}}}{999\frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81\frac{m}{s^2}} + 6\ \text{m} + 0{,}19\ \text{m} + 0{,}62\ \text{m} - 0\ \text{m}$$

$$+ \frac{\left(0{,}84\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9{,}81\frac{m}{s^2}}(0{,}9 + 2{,}5 + 70 + 0{,}5) + \frac{\left(1{,}49\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9{,}81\frac{m}{s^2}}(2 \times 0{,}9 + 2{,}5 + 70 + 1)$$

$$+ \frac{\left(1{,}49\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9{,}81\frac{m}{s^2}} - \frac{\left(0{,}84\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9{,}81\frac{m}{s^2}}$$

$$H_B = 17{,}83\ \text{m}$$

Determinación de la potencia de la Bomba mediante la Ecuación 3.10.

.

$$\text{Pot} = Q \times \gamma \times H_B$$

$$\text{Pot} = 0{,}0017\frac{m^3}{s} \times 999\frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81\frac{m}{s^2} \times 17{,}83\ \text{m}$$

$$\text{Pot} = 297{,}05\ \text{W} * \frac{1\ \text{HP}}{745{,}7\ \text{W}} = 0{,}40\ \text{HP}$$

Mediante la Figura AIV.2. se considera que para un caudal de 0,0017 m^3/s y una altura de bomba de 7,25 m la eficiencia de la bomba es de 40 %.

Con este dato se procede a calcular la potencia real de la bomba y se asume un 10 % de factor de seguridad (Sinnott, 2009, p. 199).

$$\text{Pot}_{\text{real}} = 1{,}10 * \frac{0{,}40\text{HP}}{0{,}40} = 1{,}10\ \text{HP}$$

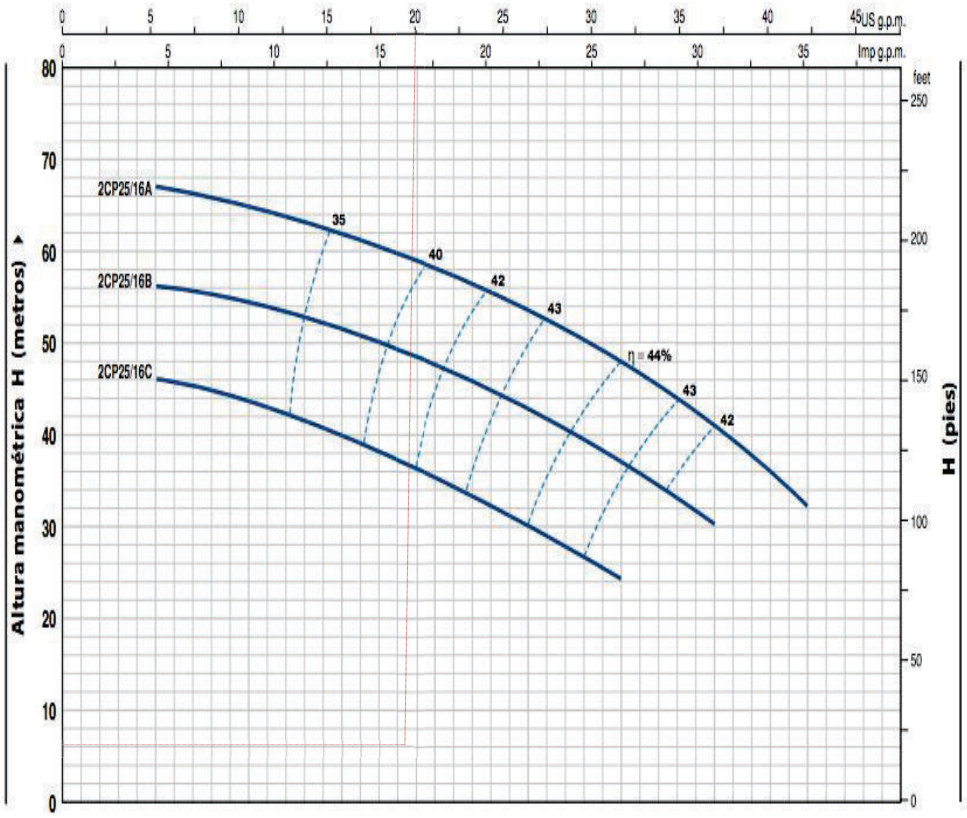


Figura AIV.2. Curva de operación de una bomba centrífuga
(Pedrollo, 2016)

Determinación de la presión de succión:

La presión de succión se determinará mediante la Ecuación AIV.5.

$$Ps = \Delta H_{ss} - \Delta H_{fs} \qquad \text{[AIV.5.]}$$

Donde:

Ps: presión de succión (psi)
ΔH_{ss}: cabezal estático en la succión (psi)
ΔH_{fs}: pérdidas en la succión (psi)

El valor del cabezal estático se lo determina mediante la Ecuación AIV.6.

$$\Delta H_{ss} = \delta \, . \, H_{Ts} \qquad \text{[AIV.6.]}$$

Donde:

δ: densidad del fluido (lb/in^3)

H_{Ts}: altura del tanque en la succión (in)

$$\Delta H_{ss} = 4 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{2{,}54 \times 10^{-2} \text{ m}} \times 999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{2{,}20 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(2{,}54 \times 10^{-2} \text{ m})^3}{1 \text{ in}^3}$$

$$\Delta H_{ss} = 5{,}67 \text{ psi}$$

Se utilizan las pérdidas de fricción y accesorios determinados previamente mediante la Ecuación AIV.3.

$$\Delta H_{fs} = 0{,}19 \text{ m} + \frac{\left(0{,}84 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} (0{,}9 + 2{,}5 + 70 + 0{,}5)$$

$$\Delta H_{fs} = 2{,}85 \text{ m}$$

$$\Delta H_{fs} = 2{,}85 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{0{,}0254 \text{ m}} \times 999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{2{,}20 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(2{,}54 \times 10^{-2} \text{ m})^3}{1 \text{ in}^3}$$

$$\Delta H_{fs} = 4{,}04 \text{ psi}$$

Al reemplazar los valores en la Ecuación AIV.5, se obtiene el valor de la presión de succión:

$$P_s = (5{,}67 - 4{,}04) \text{psi}$$

$$P_s = 1{,}63 \text{ psi}$$

Determinación de la presión de descarga.

Para determinar la presión de descarga se aplica la Ecuación AIV.7.

$$\mathrm{Pd} = \Delta \mathrm{H_{sd}} + \Delta \mathrm{H_{fd}} \qquad \text{[AIV.7.]}$$

Donde:

Pd: presión de succión (psi)
$\Delta \mathrm{H_{sd}}$: cabezal estático en la descarga (psi)
$\Delta \mathrm{H_{fd}}$: perdidas en la descarga (psi)

El valor del cabezal estático en la descarga se determina como indica la Ecuación AIV.6.

$$\Delta \mathrm{H_{sd}} = 6\ \mathrm{m} \times \frac{1\ \mathrm{in}}{2{,}54 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}} \times 999\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \times \frac{2{,}20\ \mathrm{lb}}{1\ \mathrm{kg}} \times \frac{(2{,}54 \times 10^{-2}\ \mathrm{m})^3}{1\ \mathrm{in}^3}$$

$$\Delta \mathrm{H_{sd}} = 8{,}51\ \mathrm{psi}$$

Las pérdidas por fricción y accesorios en la descarga se determinan como indica la Ecuación AIV.3.

$$\Delta \mathrm{H_{fd}} = 0{,}62\ \mathrm{m} + \frac{\left(1{,}49\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} (2\ \times 0{,}9 + 2{,}5 + 70{,}0 + 1{,}0)$$

$$\Delta \mathrm{H_{fd}} = 8{,}90\ \mathrm{m}$$

$$\Delta \mathrm{H_{fs}} = 8{,}90\ \mathrm{m} \times \frac{1\ \mathrm{in}}{0{,}0254\ \mathrm{m}} \times 999\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \times \frac{2{,}20\ \mathrm{lb}}{1\ \mathrm{kg}} \times \frac{(2{,}54 \times 10^{-2}\ \mathrm{m})^3}{1\ \mathrm{in}^3}$$

$$\Delta \mathrm{H_{fs}} = 12{,}62\ \mathrm{psi}$$

Al reemplazar los valores en la Ecuación AIV.7., se obtiene el valor de la presión de descarga:

$$P_d = 8{,}51 + 12{,}62$$

$$P_d = 21{,}13 \text{ psi}$$

Para encontrar el valor del TDH de la bomba se aplica la Ecuación AIV.8.

$$TDH = Pd - Ps \qquad \text{[AIV.8.]}$$

Donde:

Pd: presión de descarga (psi)
Ps: presión de succión (psi)

$$TDH = (21{,}13 - 1{,}63)\text{psi}$$

$$TDH = 19{,}50 \text{ psi}$$

Dimensionamiento de las bombas P-102A/B y P-105A/B

Para el dimensionamiento de estas tuberías se tomarán las siguientes consideraciones establecidas en la Tabla AIV.3.

Tabla AIV.3. Consideraciones para el dimensionamiento de las bombas 2

Propiedad	Valor	Unidad
Caudal	0,0017	m^3/s
Largo de la tubería (succión)	16	m
Largo de la tubería (descarga)	7	m
Altura de descarga	6	m

Posteriormente se procederá a calcular la altura de la bomba mediante la ecuación de Bernoulli la cual se obtiene mediante la Ecuación 3.10.

Para la determinación de la velocidad de succión, se considera un diámetro nominal de 2 ½ ”, con diámetro interno de 2 pulgadas, mientras que para la

tubería de descarga se considera un tamaño nominal de 2” con diámetro interno de 1 ½“ establecido en el Anexo AIV.1. con dichos diámetros se determinará la velocidad v_1 y v_2, como indica la Ecuación AIV.2. las cuales deben cumplir con las velocidades establecidas en la Tabla 3.17. del Capítulo 3.

$$v_i = \frac{Q}{A} \qquad \text{[AIV.2]}$$

$$v_1 = 0{,}0017\frac{m^3}{s} * \frac{1}{\pi\left(\frac{2\ in}{2}\right)^2} * \frac{(1\ in)^2}{(0{,}0254\ m)^2}$$

$$v_1 = 0{,}84\frac{m}{s}$$

$$v_1 = 2{,}76\frac{ft}{s}$$

Relacionando la velocidad de succión (v_1) con la Tabla 3.17. se puede determinar que la velocidad de succión se encuentra dentro del rango de diseño.

$$v_2 = 0{,}0017\frac{m^3}{s} * \frac{1}{\pi\left(\frac{1\frac{1}{2}\ in}{2}\right)^2} * \frac{(1\ in)^2}{(0{,}0254\ m)^2}$$

$$v_2 = 1{,}49\frac{m}{s}$$

$$v_2 = 4{,}89\frac{ft}{s}$$

Relacionando la velocidad de descarga (v_2) con la Tabla 3.17. se puede determinar que la velocidad de descarga se encuentra dentro del rango de diseño.

Determinación de la pérdida de carga, de acuerdo con la ecuación de Darcy, Ecuación AIV.3.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \qquad \text{[AIV.3.]}$$

Para la determinación de la pérdida de carga, se calcula previamente el número de Reynolds de acuerdo con la ecuación Ecuación AIV.4.

$$Re = \frac{v \times \delta \times D}{\mu} \qquad \text{[AIV.4.]}$$

Por lo tanto, el número de Reynolds la tubería de succión es:

$$Re = \frac{0{,}84\,\frac{m}{s} \times 999\,\frac{kg}{m^3} \times 2\text{ in} \times \frac{0{,}0254\text{ m}}{1\text{ in}}}{11 * 10^{-4}\,\frac{kg}{m\,s}}$$

$$Re = 38\,753{,}93$$

Los datos de densidad y viscosidad del fluido fueron tomados del apéndice A del libro de Mills F. “Transferencia de Calor”.

Para el cálculo del factor de fricción (f) es necesario utilizar el diagrama Moody establecido en la Figura AIV.1 el cual da una relación entre la rugosidad específica estipulada en función del material de diseño de la tubería y el número de Reynolds para así encontrar el factor de fricción.

El transporte del fluido se lo realiza mediante una tubería de PVC, con ésto se tiene un $\varepsilon = 0{,}00015\text{ cm}$ (Diagrama de Moody).

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0{,}00015\text{ cm}}{2\text{ in} \times \frac{2{,}54\text{ cm}}{1\text{ in}}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 3 \times 10^{-5}$$

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se determina el coeficiente de rozamiento f en el diagrama de Moody establecido en la Figura AIV.1

$$f = 0{,}023$$

Al reemplazar los valores en la Ecuación AIV.3, se tiene:

$$hf_{2"} = 0{,}023 \times \frac{16\ m}{2\ in \times \frac{0{,}0254\ m}{1\ in}} \times \frac{\left(0{,}84 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{m}{s^2}}$$

$$hf_{2"} = 0{,}26\ m$$

El número de Reynolds para un diámetro interno de 1 ½", la cual corresponde a la tubería de descarga se determina con la Ecuación AIV.4.

$$Re = \frac{1{,}49\ \frac{m}{s} \times 999 \frac{kg}{m^3} \times 1{,}5\ in \times \frac{0{,}0254\ m}{1\ in}}{11 * 10^{-4} \frac{kg}{m\ s}}$$

$$Re = 51\,556{,}57$$

El transporte del fluido en la sección de descarga se lleva a cabo en una tubería de acero Inoxidable, con esto se tiene un $\varepsilon = 0{,}015\ cm$.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0{,}015\ cm}{1{,}5\ in \times \frac{2{,}54\ cm}{1\ in}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0{,}004$$

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se determina el coeficiente de rozamiento f en el diagrama de Moody mediante la Figura AIV.1.

$$f = 0{,}03$$

De acuerdo con el espacio disponible en la planta, se considera una longitud de la tubería de 7,00 m.

Al reemplazar los valores en la Ecuación AIV.3, se tiene:

$$\mathrm{hf_{3"}} = 0{,}03 \times \frac{7{,}00\ \mathrm{m}}{1{,}5\ \mathrm{in} \times \frac{0{,}0254\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{in}}} \times \frac{\left(1{,}49 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}}$$

$$\mathrm{hf_{3"}} = 0{,}62\ \mathrm{m}$$

Para las pérdidas por fricción en accesorios se trabaja con las constantes de la Tabla AIV.2. y se reemplaza los datos en la Ecuación AIV.1. despejando la altura de bomba.

$$\mathrm{H_B} = \frac{0{,}72\ \mathrm{atm} \cdot \frac{101\,325\ {}^{\mathrm{N}}/_{\mathrm{m^2}}}{1\ \mathrm{atm}}}{999 \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} \cdot 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}} - \frac{0{,}72\ \mathrm{atm} \cdot \frac{101\,325\ {}^{\mathrm{N}}/_{\mathrm{m^2}}}{1\ \mathrm{atm}}}{999 \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} \cdot 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}} + 6\ \mathrm{m} + 0{,}26\ \mathrm{m} + 0{,}62\ \mathrm{m} - 0\ \mathrm{m}$$
$$+ \frac{\left(0{,}84 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}} (0{,}9 + 2{,}5 + 70 + 0{,}5) + \frac{\left(1{,}49 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}} (2 \times 0{,}9 + 2{,}5 + 70 + 1)$$
$$+ \frac{\left(1{,}35 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}} - \frac{\left(0{,}87 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}}$$

$$\mathrm{H_B} = 17{,}89\ \mathrm{m}$$

Determinación de la potencia de la Bomba mediante la Ecuación 3.10.

.

$$\mathrm{Pot} = \mathrm{Q} \times \gamma \times \mathrm{H_B}$$

$$\mathrm{Pot} = 0{,}0017 \frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{s}} \times 999 \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} \cdot 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}} \times 17{,}89\ \mathrm{m}$$

$$\mathrm{Pot} = 298{,}05\ \mathrm{W} * \frac{1\ \mathrm{HP}}{745{,}7\ \mathrm{W}} = 0{,}40\ \mathrm{HP}$$

Mediante la Figura AIV.2. se considera que para un caudal de 0,0017 m^3/s y una altura de bomba de 7,27 m la eficiencia de la bomba es de un 40 %.

Con este dato se procede a calcular la potencia real de la bomba y se asume un 10 % de factor de seguridad (Sinnott, 2009, p. 199).

$$\mathrm{Pot_{real}} = 1{,}10 * \frac{0{,}40\ \mathrm{HP}}{0{,}40} = 1{,}10\ \mathrm{HP}$$

Determinación de la presión de succión:

La presión de succión se determinará mediante la Ecuación AIV.5.

$$\mathrm{Ps} = \Delta \mathrm{H_{ss}} - \Delta \mathrm{H_{fs}} \qquad \text{[AIV.5.]}$$

El valor del cabezal estático se lo determina mediante la Ecuación AIV.6.

$$\Delta \mathrm{H_{ss}} = \delta\ .\ \mathrm{H_{Ts}} \qquad \text{[AIV.6.]}$$

$$\Delta \mathrm{H_{ss}} = 4\ \mathrm{m} \times \frac{1\ \mathrm{in}}{2{,}54 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}} \times 999 \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} \times \frac{2{,}20\ \mathrm{lb}}{1\ \mathrm{kg}} \times \frac{(2{,}54 \times 10^{-2}\ \mathrm{m})^3}{1\ \mathrm{in^3}}$$

$$\Delta \mathrm{H_{ss}} = 5{,}67\ \mathrm{psi}$$

Se utilizan las pérdidas de fricción y accesorios determinados previamente mediante la Ecuación AIV.3.

$$\Delta \mathrm{H_{fs}} = 0{,}26\ \mathrm{m} + \frac{\left(0{,}84 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}} (0{,}9 + 2{,}5 + 70 + 0{,}5)$$

$$\Delta \mathrm{H_{fs}} = 2{,}92\ \mathrm{m}$$

$$\Delta \mathrm{H_{fs}} = 2{,}92\ \mathrm{m} \times \frac{1\ \mathrm{in}}{0{,}0254\ \mathrm{m}} \times 999 \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} \times \frac{2{,}20\ \mathrm{lb}}{1\ \mathrm{kg}} \times \frac{(2{,}54 \times 10^{-2}\ \mathrm{m})^3}{1\ \mathrm{in^3}}$$

$$\Delta H_{fs} = 4{,}14 \text{ psi}$$

Al reemplazar los valores en la Ecuación AIV.5, se obtiene:

$$P_s = (5{,}67 - 4{,}14)\text{psi}$$

$$P_s = 1{,}53 \text{ psi}$$

Determinación de la presión de descarga.

Para determinar la presión de descarga se aplica la Ecuación AIV.7.

$$Pd = \Delta H_{sd} + \Delta H_{fd} \qquad \text{[AIV.7]}$$

El valor del cabezal estático se determina con la Ecuación AIV.6.

$$\Delta H_{sd} = 6 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{2{,}54 \times 10^{-2} \text{ m}} \times 999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{2{,}20 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(2{,}54 \times 10^{-2} \text{ m})^3}{1 \text{ in}^3}$$

$$\Delta H_{sd} = 8{,}51 \text{ psi}$$

Las pérdidas en la descarga se determinan mediante la Ecuación AIV.3.

$$\Delta H_{fd} = 0{,}62\text{m} + \frac{\left(1{,}35 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} (2{,}0 \times 0{,}9 + 2{,}5 + 70{,}0 + 1{,}0)$$

$$\Delta H_{fd} = 8{,}90 \text{ m}$$

$$\Delta H_{fs} = 8{,}90 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{0{,}0254 \text{ m}} \times 999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{2{,}20 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(2{,}54 \times 10^{-2} \text{ m})^3}{1 \text{ in}^3}$$

$$\Delta H_{fs} = 12{,}62 \text{ psi}$$

Al reemplazar los valores en la Ecuación AIV.7., se obtiene:

$$P_d = 12{,}62 + 8{,}51$$

$$P_d = 21{,}13 \text{ psi}$$

Para encontrar el valor del TDH de la bomba aplicamos la Ecuación AIV.8.

$$TDH = Pd - Ps \qquad \text{[AIV.8.]}$$

Donde:

Pd: presión de descarga (psi)
Ps: presión de succión (psi)

$$TDH = (21{,}13 - 1{,}53)\text{psi}$$

$$TDH = 19{,}60 \text{ psi}$$

AIV.3 DIMENSIONAMIENTO DEL COEFICIENTE DE LA VÁLVULA

El coeficiente de las válvulas se calculará a partir de la Ecuación 3.11. considerando como la caída de presión el TDH el cual es la diferencia entre la presión de descarga y la presión de succión, se considera la gravedad especifica del agua como 0,90 (Mott R., 2006,p.17).

Cálculo del coeficiente de válvula en las bombas P-101A/B, P-103A/B y P-104A/B

$$Kv = Q\sqrt{\frac{SG}{\Delta P}}$$

$$\mathrm{Kv} = 0{,}0017\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} * \frac{3\,600\ \mathrm{s}}{\mathrm{h}}\sqrt{\frac{0{,}90}{19{,}50\ \mathrm{psi} * \frac{1{,}01 * 10^5\ \mathrm{N/m^2}}{14{,}7\ \mathrm{psi}}}}$$

$$\mathrm{Kv} = 0{,}016\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}} * \mathrm{Pa}^{-1/2}$$

Considerando el 10 % de sobredimensionamiento se obtiene:

$$\mathrm{Kv} = 0{,}018\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}} * \mathrm{Pa}^{-1/2}$$

Calculo del coeficiente de válvula en las bombas P-102A/B y P-105A/B

$$\mathrm{Kv} = \mathrm{Q}\sqrt{\frac{\mathrm{SG}}{\Delta \mathrm{P}}}$$

$$\mathrm{Kv} = 0{,}0017\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} * \frac{3\,600\ \mathrm{s}}{\mathrm{h}}\sqrt{\frac{0{,}90}{19{,}60\ \mathrm{psi} * \frac{1{,}01 * 10^5\ \mathrm{N/m^2}}{14{,}7\ \mathrm{psi}}}}$$

$$\mathrm{Kv} = 0{,}016\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}} * \mathrm{Pa}^{-1/2}$$

Considerando el 10 % de sobredimensionamiento tenemos:

$$\mathrm{Kv} = 0{,}018\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}} * \mathrm{Pa}^{-1/2}$$

Las constantes de las válvulas son tan pequeñas que prácticamente no se tendría ningún tipo de pérdida de fricción en accesorios, para ellos es mejor utilizar las constantes de las válvulas establecidas en tablas, debido a que se debe considerar el área de flujo y el porcentaje de apertura de la válvula así como también el tipo de válvula a utilizar.

AIV.4 DIMENSIONAMIENTO DEL CALDERO

En base al balance de energía del Anexo AII se obtiene la cantidad de vapor necesario para el funcionamiento del área de tintorería, para ellos se utiliza el vapor requerido para el proceso de tinturación del poliéster en todos los equipos *Overflow* y el vapor requerido por la secadora, con ésto se determina que la demanda de vapor es de 2 460,55 kg/h una vez con estos datos se procede a realizar un balance de masa en el caldero para determinar la cantidad de agua requerida por el caldero.

Al requerimiento del vapor se aumenta un factor de seguridad del 15 % para su diseño (Eisted, Larsen y Christensen, 2009, pp. 739-742),con lo cual el requerimiento real de vapor es de 3 075,68 kg/h.

Determinación de la presión absoluta de operación del caldero

$$P_{op} = 119{,}00 \text{ psi}$$

$$P_{QUITO} = 10{,}58 \text{ psi}$$

$$P_{\substack{operación \\ absoluta}} = (119{,}00 + 10{,}58) \text{ psi}$$

$$P_{\substack{operación \\ absoluta}} = 129{,}58 \text{ psi}$$

Se consideró una entrada de agua a 30°C, en la Tabla AIV.4. se presenta las propiedades tanto del vapor saturado como del agua de ingreso.

Tabla AIV.4. Propiedades del vapor saturado y agua de ingreso

Propiedad	Cantidad	Unidad
Vapor requerido	3075,68	kg/h
Presión del caldero	129,7	psi
Temperatura de saturación	177	°C

Tabla AIV.4. Propiedades del vapor saturado y agua de ingreso (continuación…)

Propiedad	Cantidad	Unidad
Temperatura de ingreso del agua	30	°C
Cp medio del agua	4209	J/kg °C
calor latente de ebullición del agua	1,90E+06	J/kg

Determinación de la potencia del caldero mediante la Ecuación AIV.9:

$$Q_{caldero} = Q_{sensible} + Q_{Lp} \quad [AIV.9]$$

Donde:

$Q_{caldero}$: potencia requerida por el caldero (W)
Q_{Lp}: flujo de energía proveniente del calor latente de evaporación (W)
$Q_{sensible}$: flujo de calor sensible del agua (W)

El calor sensible del agua y el calor latente de evaporación, se las obtiene mediante las Ecuaciones AIV.10 y AIV.11, respectivamente.

$$Q_{sensible} = m \times Cp \times (T_{sat} - T_a) \quad [AIV.10]$$

Donde:

m: flujo másico del agua (kg/h)
Cp: capacidad calórica del agua (J/kgK)
T_{sat}: temperatura de saturación del vapor (°C)
T_a: temperatura ambiente (°C)

$$Q_{Lp} = m \times Lp \quad [AIV.11]$$

Al reemplazar los valores en la Ecuación AIV.9, se obtiene:

$$Q_{caldero} = 3\,075{,}68 \frac{kg}{h} \times \left[4\,209 \frac{J}{kg\,°C} \times (177 - 30)°C + 1{,}90 \times 10^6 \frac{J}{kg}\right] * \frac{h}{3\,600\ s}$$

$$Q_{caldero} = 2{,}15 \times 10^6 \text{ W}$$

$$Q_{caldero} = 2{,}15 \times 10^6 \text{ W} \times \frac{3\,600 \text{ s}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{1\,055 \text{ J}} \times \frac{1 \text{ BHP}}{33\,475 \text{ BTU/h}} = 219{,}16 \text{ BHP}$$

Con la determinación de la potencia del caldero la cual fue de 219,16 BHP, al no sobrepasar los 500 BHP se define que el caldero a utilizar es de tipo pirotubular.

Determinación del flujo de combustible:

El calor de combustión se lo obtiene mediante la Ecuación AIV.12.

$$Q_{caldero} = n_c \times m_c \times P_c \qquad \text{[AIV.12]}$$

Donde:

n_c: eficiencia de la combustión
m_c: flujo másico del combustible (kg/h)
P_c: Poder calorífico del combustible (kCal/kg)

La eficiencia de combustión considera que no todo el combustible se quema, por lo tanto se considera un rango entre el 80 y el 90 % (Agencia chilena de eficiencia energética, 2013, p. 43).

El porcentaje en peso de los componentes del diésel se indican en la Tabla AIV.5.

Tabla AIV.5. Composición elemental del diésel premium

Componente	% en peso
C	87,3
H	12,6
O	0,10
H_2O	0,10
S	0,22

(Perry, 2000, 9-15)

Con esto, se puede determinar el poder calórico del diésel, se lo obtuvo de la fuente de EP Petroecuador el cual es principal proveedor de combustible a las industrias ecuatorianas (EP Petroecuador, 2016):

$$P_c = 4{,}37 * 10^7 \frac{J}{kg}$$

Por lo tanto, el flujo másico de combustible se lo obtiene mediante la Ecuación 3.13:

$$2{,}15 \times 10^6\ W = 0{,}80 \times m_c \times 4{,}37 * 10^7 \frac{J}{kg}$$

$$m_c = 0{,}06\ \frac{kg}{s}$$

$$m_c = 0{,}06\ \frac{kg}{s} * \frac{m^3}{860\ kg} * \frac{1\ 000\ L}{m^3} * \frac{1\ gal}{3{,}78\ L} * \frac{3\ 600\ s}{h} = 66{,}44 \frac{gal}{h}$$

Determinación de los gases de combustión

Los gases de combustión serán determinados a partir de la Tabla AIV.5. y de la masa de combustible mediante un balance de masa tomando en consideración las Ecuaciones 3.14 - 3.16, con un exceso de oxígeno del 12 % (Felder y Rousseau, 2004, pp. 90-56 y 116-120).

$$\dot{m}_c = 0{,}06 \frac{kg\ comb}{s} \times \frac{87{,}3\ kg\ C}{100\ kg\ comb} \times \frac{3\ 600\ s}{h} = 188{,}57\ \frac{kg\ C}{h}$$

$$\dot{m}_H = 0{,}06 \frac{kg\ comb}{s} \times \frac{12{,}6\ kg\ H}{100\ kg\ comb} \times \frac{3\ 600\ s}{h} = 27{,}21 \frac{kg\ H}{h}$$

$$\dot{m}_S = 0{,}06 \frac{kg\ comb}{s} \times \frac{0{,}22\ kg\ S}{100\ kg\ comb} \times \frac{3\ 600\ s}{h} = 0{,}47 \frac{kg\ S}{h}$$

Con esto se determina el flujo molar de CO_2, H_2O y SO_2:

$$\dot{n}_{CO_2} = 188{,}57\ \frac{\text{kg C}}{\text{h}} \times \frac{1\ \text{kmol C}}{12\ \text{kgC}} \times \frac{1\text{kmol } CO_2}{1\ \text{kmol C}} = 15{,}71 \frac{\text{kmol } CO_2}{\text{h}}$$

$$\dot{n}_{H_2O} = 27{,}21 \frac{\text{kg H}}{\text{día}} \times \frac{1\ \text{kmol } H_2}{2\ \text{kg H}} \times \frac{1\ \text{kmol } H_2O}{2\ \text{kmol } H_2} = 6{,}80 \frac{\text{kmol } H_2O}{\text{h}}$$

$$\dot{n}_{SO_2} = 0{,}47 \frac{\text{kg S}}{\text{h}} \times \frac{1\ \text{kmol S}}{32\ \text{kg S}} \times \frac{1\ \text{kmol } SO_2}{1\ \text{kmol S}} = 0{,}01\ \frac{\text{kmol } SO_2}{\text{h}}$$

Para la Ecuación 3.14, se tiene:

$$\dot{n}_{O_2} = 15{,}71 \frac{\text{kmol } CO_2}{\text{h}} \times \frac{1\ \text{kmol } O_2}{1\ \text{kmol } CO_2} = 15{,}71\ \frac{\text{kmol } O_2}{\text{h}}$$

Para la Ecuación 3.15, se tiene:

$$\dot{n}_{O_2} = 6{,}80 \frac{\text{kmol } H_2O}{\text{h}} \times \frac{0{,}5\ \text{kmol } O_2}{1\ \text{kmol } H_2O} = 3{,}40\ \frac{\text{kmol } O_2}{\text{h}}$$

Para la Ecuación 3.16, se tiene:

$$\dot{n}_{O_2} = 0{,}01 \frac{\text{kmol } SO_2}{\text{h}} \times \frac{1\text{kmol } O_2}{1\ \text{kmol } SO_2} = 0{,}01 \frac{\text{kmol } O_2}{\text{día}}$$

Por lo tanto las moles de oxígeno totales de la estequiometria:

$$\dot{n}_{\text{Total } O_2} = 15{,}71\ \frac{\text{kmol } O_2}{\text{h}} + 3{,}40\ \frac{\text{kmol } O_2}{\text{h}} + 0{,}01 \frac{\text{kmol } O_2}{\text{día}}$$

$$\dot{n}_{\text{Total } O_2} = 19{,}12\ \frac{\text{kmol } O_2}{\text{h}}$$

El exceso de oxígeno se lo obtiene mediante la Ecuación AIV.13.

$$\%\text{Exceso } O_2 = \frac{O_{2\ \text{ingresa}} - O_{2\ \text{estequiometría}}}{O_{2\ \text{estequimetría}}} \times 100 \qquad \text{[AIV.13]}$$

Donde:

$O_{2\ ingresa}$: oxígeno que ingresa (kmol/h)

$O_{2\ estequiometría}$: oxígeno estequeométrico (kmol/h)

$$12 = \frac{O_{2\ \text{ingresa}} - 19{,}12\ \frac{\text{kmol}\ O_2}{\text{h}}}{19{,}12\ \frac{\text{kmol}\ O_2}{\text{h}}} \times 100$$

$$O_{2\ \text{ingresa}} = 21{,}41 \frac{\text{kmol}\ O_2}{\text{h}}$$

Cantidad de aire que ingresa:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{21{,}41 \frac{\text{kmol}\ O_2}{\text{h}} \times \frac{32\ \text{kg}\ O_2}{\text{kmol}\ O_2}}{\frac{21\ \text{kg}\ O_2}{100\ \text{kg aire}}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 3\ 262{,}47 \frac{\text{kg aire}}{\text{h}}$$

Cantidad de oxígeno a la salida:

$$O_{2\ \text{salida}} = O_{2\ \text{ingresa}} - O_{2\ \text{estequiométrico}}$$

$$O_{2\ \text{salida}} = 21{,}41 \frac{\text{kmol}\ O_2}{\text{h}} - 19{,}12\ \frac{\text{kmol}\ O_2}{\text{h}}$$

$$O_{2\ \text{salida}} = 2{,}29\ \frac{\text{kmol}\ O_2}{\text{h}}$$

La cantidad de nitrógeno (N_2) a la a la salida:

$$N_{2\ \text{ingresa}} = 21{,}41 \frac{\text{kmol}\ O_2}{\text{h}} \times \frac{79\ \text{kmol}\ N_2}{21\ \text{kmol}\ O_2}$$

$$N_{2\ \text{ingresa}} = 80{,}54 \frac{\text{kmol}\ N_2}{\text{h}}$$

$$N_{2\ \text{sale}} = 80{,}54 \frac{\text{kmol}\ N_2}{\text{h}}$$

En la Tabla AIV.6. se tiene la composición de los gases de salida:

Tabla AIV.6. Composición de los gases de salida

Compuesto	kmol/h	% molar	Kg/h	% peso
CO_2	15,71	14,91	691,24	21,99
H_2O	6,80	6,45	122,40	3,89
SO_2	0,01	0,01	0,64	0,02
N_2	80,54	76,45	2 255,12	71,75
O_2	2,29	2,18	73,28	2,35

Con estos datos se determinó que el flujo de los gases de salida es:

$$\dot{m}_{gases} = 3\,142{,}68\ \frac{\text{kg gases}}{\text{h}}$$

Determinación de la temperatura de combustión y temperatura de gases de salida

Para determinar la temperatura de combustión se utiliza la Ecuación AIV.14..

$$T_{combustión} = \frac{P_c * \dot{m}_{combustible} * n}{\dot{m}_{gases} * Cp_{gases}} + T_{ambiente} \qquad \text{[AIV.14]}$$

Donde:

Pc: poder calórico del combustible (J/kg)
n: eficiencia de la combustión
Cp_{gases}: capacidad calórica de los gases de combustión (J/kg°C)
Tc: temperatura de combustión (°C)
Ta: temperatura ambiente (°C)

La capacidad calórica de los gases de salida se calcula mediante la Ecuación AIV.15 considerando la Tabla AIV.7. (Himmelblau, 2002, pp. 661-663).

$$Cp = A + B \times T + C \times T^2 + D \times T^3 \qquad \text{[AIV.15]}$$

Donde:

Cp: capacidad calórica (kJ/kmol K)
A, B, C, D: constantes de cada compuesto
T: temperatura media (K)

En la Tabla AIV.7. se presentan los valores de las constantes de cada compuesto que forman parte de los gases de combustión.

Tabla AIV.7. Constantes de compuestos en estado gaseoso correspondientes a la ecuación de la capacidad calórica.

Compuesto	Valor de las constantes			
	A	$Bx10^2$	$Cx10^5$	$Dx10^9$
CO_2	36,11	4,23	-2,89	-7,46
H_2O	33,46	0,69	0,76	-3,59
SO_2	38,91	3,90	-3,10	8,61
O_2	29,10	1,16	-0,61	1,31
N_2	29,10	0,22	0,57	-2,87

(Himmelblau, 2002, pp. 661-663)

El valor de la temperatura media se determinó entre una temperatura de combustión asumida y la temperatura ambiente:

$$T = \frac{(1\,700 + 24)\ ℃}{2}$$

$$T = 862\ ℃$$

$$T = 1\,135\ K$$

Con la temperatura media, se reemplazan los valores en la Ecuación AIV.15.

$$Cp_{CO_2} = 36{,}11 + (4{,}23 \times 10^{-2})(1\,135) + (-2{,}89 \times 10^{-5})(1\,135)^2 + (7{,}46 \times 10^{-9})(1\,135)^3$$

$$Cp_{CO_2} = 57{,}79\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{H_2O} = 33{,}46 + (0{,}69 \times 10^{-2})(1\,135) + (0{,}76 \times 10^{-5})(1\,135)^2 + (-3{,}59 \times 10^{-9})(1\,135)^3$$

$$Cp_{H_2O} = 45{,}83\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{SO_2} = 38{,}91 + (3{,}90 \times 10^{-2})(1\,135) + (-3{,}10 \times 10^{-5})(1\,135)^2 + (8{,}61 \times 10^{-9})(1\,135)^3$$

$$Cp_{SO_2} = 55{,}83\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{O_2} = 29{,}10 + (1{,}16 \times 10^{-2})(1\,135) + (-0{,}61 \times 10^{-5})(1\,135)^2 + (1{,}31 \times 10^{-9})(1\,135)^3$$

$$Cp_{O_2} = 36{,}32\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{N_2} = 29{,}00 + (0{,}22 \times 10^{-2})(1\,135) + (0{,}57 \times 10^{-5})(1\,135)^2 + (-2{,}87 \times 10^{-9})(1\,135)^3$$

$$Cp_{N_2} = 34{,}64\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

la capacidad calórica de los gases de combustión se determina con la Ecuación AIV.16.

$$Cp_{gc} = x_{CO_2} \cdot Cp_{CO_2} + x_{H_2O} \cdot Cp_{H_2O} + x_{SO_2} \cdot Cp_{SO_2} + x_{O_2} \cdot Cp_{O_2} + x_{N_2} \cdot Cp_{N_2} \quad \text{[AIV.16]}$$

Donde:

x_{CO_2}: fracción molar del CO_2

x_{H_2O}: fracción molar del H_2O

x_{SO_2}: fracción molar del dióxido de SO_2

x_{O_2}: fracción molar del O_2

x_{N_2}: fracción molar del N_2

Los valores de fracción molar se los obtiene de la Tabla AIV.6. se reemplazan estos valores y se obtiene:

$$\mathrm{Cp_{gc}} = \left[0{,}15 \times 57{,}79 \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ CO_2}}{44\ \mathrm{kg\ CO_2}} + 0{,}06 \times 45{,}83 \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ H_2O}}{18\ \mathrm{kg\ H_2O}} + 0{,}00 \times 55{,}83 \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ SO_2}}{64\ \mathrm{kg\ SO_2}} + 0{,}02 \times 36{,}32 \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ O_2}}{32\ \mathrm{kg\ O_2}} + 0{,}76 \times 34{,}64 \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ N_2}}{28\ \mathrm{kg\ N_2}}\right]$$

$$\mathrm{Cp_{gc}} = 1{,}31\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\ K}}$$

$$\mathrm{Cp_{gc}} = 1\ 310\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\ K}}$$

Con la capacidad calórica de los gases de combustión se reemplaza y se calcula la temperatura de combustión

$$\mathrm{T_{combustión}} = \frac{4{,}37 * 10^7\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} *\ 0{,}06\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}\ *\ \frac{3\ 600\ \mathrm{s}}{\mathrm{h}} * 0{,}80}{3\ 142{,}68\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{h}} *\ 1\ 310\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\ °C}}} +\ 24\ °\mathrm{C}$$

$$\mathrm{T_{combustión}} =\ 1\ 858{,}23\ °\mathrm{C}$$

La temperatura de combustión calculada se la considera como una temperatura asumida y se recalcula mediante una temperatura media entre la temperatura de combustión y la temperatura ambiente para obtener nuevamente la capacidad calórica de los gases.

$$\mathrm{T} = \frac{(1\ 858{,}23 + 24{,}00)\ °\mathrm{C}}{2}$$

$$\mathrm{T} = 941{,}11\ °\mathrm{C}$$

$$\mathrm{T} = 1\ 214{,}26\ \mathrm{K}$$

Recalculando de la capacidad calórica.

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{CO_2}} = 36{,}11 + (4{,}23 \times 10^{-2})(1\,214{,}26\,) + (-2{,}89 \times 10^{-5})(1\,214{,}26\,)^2 + (7{,}46 \times 10^{-9})(1\,214{,}26\,)^3$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{CO_2}} = 58{,}21\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kmol\ K}}$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{H_2O}} = 33{,}46 + (0{,}69 \times 10^{-2})(1\,214{,}26) + (0{,}76 \times 10^{-5})(1\,214{,}26\,)^2 + (-3{,}59 \times 10^{-9})(1\,214{,}26\,)^3$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{H_2O}} = 46{,}61\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kmol\ K}}$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{SO_2}} = 38{,}91 + (3{,}90 \times 10^{-2})(1\,214{,}26\,) + (-3{,}10 \times 10^{-5})(1\,214{,}26\,)^2 + (8{,}61 \times 10^{-9})(1\,214{,}26\,)^3$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{SO_2}} = 55{,}97\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kmol\ K}}$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{O_2}} = 29{,}10 + (1{,}16 \times 10^{-2})(1\,214{,}26\,) + (-0{,}61 \times 10^{-5})(1\,214{,}26\,)^2 + (1{,}31 \times 10^{-9})(1\,214{,}26\,)^3$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{O_2}} = 36{,}53\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kmol\ K}}$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{N_2}} = 29{,}00 + (0{,}22 \times 10^{-2})(1\,214{,}26\,) + (0{,}57 \times 10^{-5})(1\,214{,}26\,)^2 + (-2{,}87 \times 10^{-9})(1\,214{,}26\,)^3$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{N_2}} = 34{,}93\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kmol\ K}}$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{gc}} = \left[0{,}14 \times 58{,}21\ \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ CO_2}}{44\ \mathrm{kg\ CO_2}} + 0{,}06 \times 46{,}61 \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ H_2O}}{18\ \mathrm{kg\ H_2O}} + 0{,}00 \times 55{,}97 \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ SO_2}}{64\ \mathrm{kg\ SO_2}} + 0{,}02 \times 36{,}53 \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ O_2}}{32\ \mathrm{kg\ O_2}} + 0{,}76 \times 34{,}93 \times \frac{1\ \mathrm{kmol\ N_2}}{28\ \mathrm{kg\ N_2}}\right]$$

$$\mathrm{Cp}_{\mathrm{gc}} = 1{,}31\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\ K}}$$

$$Cp_{gc} = 1\,311\ \frac{J}{kg\ K}$$

Con la capacidad calórica de los gases de combustión se reemplaza y se calcula la temperatura de combustión

$$T_{combustión} = \frac{4{,}37 * 10^7\ \frac{J}{kg} * \ 0{,}06\ \frac{kg}{s}\ * \frac{3\,600\ s}{h} * 0{,}80}{3\,142{,}68 \frac{kg}{h} * \ 1\,311\ \ \frac{J}{kg\ °C}} + \ 24\ °C$$

$$T_{combustión} = \ 1\,832{,}83\ °C$$

Mediante la Figura AIV.3. se puede determinar la temperatura de combustión real mediante la intersección entre la recta formada por la temperatura de combustión asumida y la recta que se forma por la temperatura de combustión calculada.

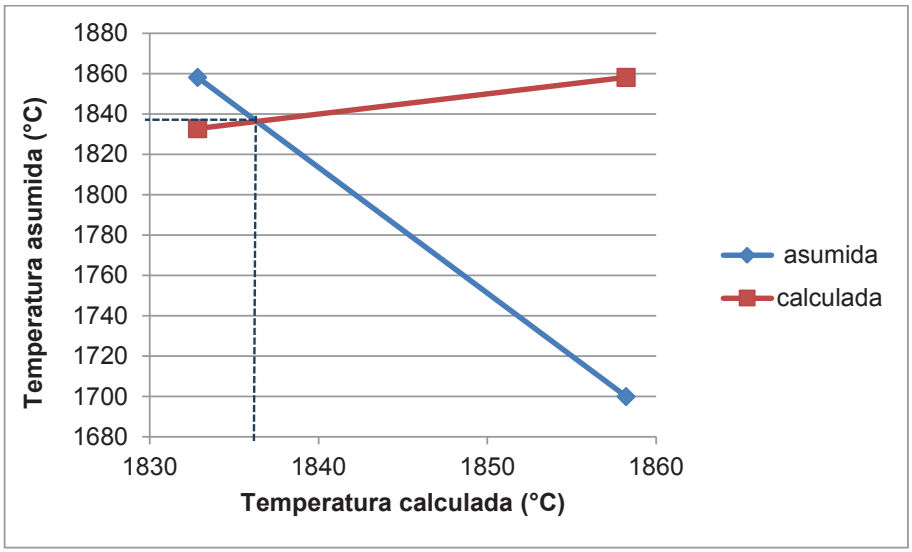


Figura AIV.3. Gráfica de la determinación de la temperatura de combustión

De la Figura AIV.3. se puede determinar que la temperatura de combustión real es de 1 836°C.

Para el cálculo de la temperatura de los gases de salida recurrimos a la Ecuación AIV.17.

$$T_{\text{gases de salida}} = T_{\text{combustión}} - \frac{Q_{\text{vapor}} * n}{\dot{m}_{\text{gases}} * Cp_{\text{gases}}} \quad [\text{AIV. 17}]$$

Para calcular la capacidad calórica de los gases de salida se utilizan las Ecuaciones AIV.15 y AIV.16 tomando como temperatura de salida de los gases una temperatura asumida equivalente a 300°C y calculando la temperatura media.

$$T = \frac{(1\,836 + 300)\ ℃}{2}$$

$$T = 1\,068{,}00℃$$

$$T = 1\,341{,}15\ K$$

Calculando el Cp de los gases de combustión

$$Cp_{CO_2} = 36{,}11 + (4{,}23 \times 10^{-2})(1\,341{,}15) + (-2{,}89 \times 10^{-5})(1\,341{,}15)^2 + (7{,}46 \times 10^{-9})(1\,341{,}15)^3$$

$$Cp_{CO_2} = 58{,}85\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{H_2O} = 33{,}46 + (0{,}69 \times 10^{-2})(1\,341{,}15) + (0{,}76 \times 10^{-5})(1\,341{,}15)^2 + (-3{,}59 \times 10^{-9})(1\,341{,}15)^3$$

$$Cp_{H_2O} = 47{,}72\frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{SO_2} = 38{,}91 + (3{,}90 \times 10^{-2})(1\,341{,}15) + (-3{,}10 \times 10^{-5})(1\,341{,}15)^2 + (8{,}61 \times 10^{-9})(1\,341{,}15)^3$$

$$Cp_{SO_2} = 56{,}22\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{O_2} = 29{,}10 + (1{,}16 \times 10^{-2})(1\,341{,}15) + (-0{,}61 \times 10^{-5})(1\,341{,}15)^2 + (1{,}31 \times 10^{-9})(1\,341{,}15)^3$$

$$Cp_{O_2} = 36{,}84\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{N_2} = 29{,}00 + (0{,}22 \times 10^{-2})(1\,167{,}5) + (0{,}57 \times 10^{-5})(1\,167{,}5)^2 + (-2{,}87 \times 10^{-9})(1\,167{,}5)^3$$

$$Cp_{N_2} = 35{,}28\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{gc} = \left[0{,}14 \times 58{,}85 \times \frac{1\ kmol\ CO_2}{44\ kg\ CO_2} + 0{,}06 \times 47{,}72 \times \frac{1\ kmol\ H_2O}{18\ kg\ H_2O} + 0{,}0 \times 56{,}22 \times \frac{1\ kmol\ SO_2}{64\ kg\ SO_2} + 0{,}02 \times 36{,}84 \times \frac{1\ kmol\ O_2}{32\ kg\ O_2} + 0{,}76 \times 35{,}28 \times \frac{1\ kmol\ N_2}{28\ kg\ N_2}\right]$$

$$Cp_{gc} = 1{,}33\ \frac{kJ}{kg\ K}$$

$$Cp_{gc} = 1\,326\ \frac{J}{kg\ K}$$

Con la capacidad calórica de los gases de combustión se reemplaza y se calcula la temperatura de combustión

$$T_{gases\ de\ salida} = 1836\ °C - \frac{2{,}15 * 10^6\ W * \frac{3\,600\ s}{h} * 0{,}8}{3\,142{,}68 \frac{kg}{h} * 1\,326\ \frac{J}{kg\ °C}}$$

$$T_{gases\ de\ salida} = 350{,}10\ °C$$

Recalculando el Cp de los gases de salida.

$$T = \frac{(1\,836 + 350{,}10)\ °C}{2}$$

$$T = 1\,093{,}05°C$$

$$T = 1\,366{,}20\ K$$

Calculando el Cp de los gases de combustión

$$Cp_{CO_2} = 36{,}11 + (4{,}23 \times 10^{-2})(1\,366{,}20) + (-2{,}89 \times 10^{-5})(1\,366{,}20)^2 + (7{,}46 \times 10^{-9})(1\,366{,}20)^3$$

$$Cp_{CO_2} = 58{,}98\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{H_2O} = 33{,}46 + (0{,}69 \times 10^{-2})(1\,366{,}20) + (0{,}76 \times 10^{-5})(1\,366{,}20)^2 + (-3{,}59 \times 10^{-9})(1\,366{,}20)^3$$

$$Cp_{H_2O} = 47{,}91\frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{SO_2} = 38{,}91 + (3{,}90 \times 10^{-2})(1\,366{,}20) + (-3{,}10 \times 10^{-5})(1\,366{,}20)^2 + (8{,}61 \times 10^{-9})(1\,366{,}20)^3$$

$$Cp_{SO_2} = 56{,}28\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{O_2} = 29{,}10 + (1{,}16 \times 10^{-2})(1\,366{,}20) + (-0{,}61 \times 10^{-5})(1\,366{,}20)^2 + (1{,}31 \times 10^{-9})(1\,366{,}20)^3$$

$$Cp_{O_2} = 36{,}90\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{N_2} = 29{,}00 + (0{,}22 \times 10^{-2})(1\,366{,}20) + (0{,}57 \times 10^{-5})(1\,366{,}20)^2 + (-2{,}87 \times 10^{-9})(1\,366{,}20)^3$$

$$Cp_{N_2} = 35{,}32\ \frac{kJ}{kmol\ K}$$

$$Cp_{gc} = \left[0{,}14 \times 58{,}98\ \times \frac{1\ kmol\ CO_2}{44\ kg\ CO_2} + 0{,}06 \times 47{,}91 \times \frac{1\ kmol\ H_2O}{18\ kg\ H_2O} + 0{,}0 \times 56{,}28 \times \frac{1\ kmol\ SO_2}{64\ kg\ SO_2} + 0{,}02 \times 36{,}90 \times \frac{1\ kmol\ O_2}{32\ kg\ O_2} + 0{,}76 \times 35{,}32 \times \frac{1\ kmol\ N_2}{28\ kg\ N_2}\right]$$

$$Cp_{gc} = 1{,}33\ \frac{kJ}{kg\ K}$$

$$Cp_{gc} = 1\ 329\ \frac{J}{kg\ K}$$

Con la capacidad calórica de los gases de combustión se reemplaza y se calcula la temperatura de combustión

$$T_{gases\ de\ salida} = 1\ 836\ °C - \frac{2{,}15 * 10^6\ W * \frac{3\ 600\ s}{h} * 0{,}8}{3\ 142{,}68 \frac{kg}{h} * 1\ 329\ \frac{J}{kg\ °C}}$$

$$T_{gases\ de\ salida} = 353{,}46\ °C$$

Como la variación entre las temperaturas de gases de salida calculadas no es significativa se considera que la temperatura de gases de salida es de 353,46°C.

AIV.5 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE DIÉSEL

Para el dimensionamiento del tanque de diésel se trabajara con el volumen de operación el cual es de 51,59 gal/h este volumen se calculara para un mes y para un tiempo de operación de 60 h/mes con lo tenemos:

$$V = \dot{V} * t$$

Donde:

$\dot{V}$: flujo volumétrico (gal/h)

t: tiempo (h)

$$V = 66{,}44 \frac{gal}{h} * 60\ h$$

$$V = 3\ 986{,}40\ gal$$

El tanque debe ser diseñado para almacenar 3 095,44 galones para un mes de consumo en la planta.

Considerando un factor de riesgo equivalente al 20 % se procede a calcular el volumen nominal (Peters y Timmerhaus, 2002, p.37).

$$V_{nominal} = 3\,986{,}40\ \text{gal} * 1{,}20 = 4\,783{,}68\ \text{gal}$$

Tomando como consideración una relación de altura y diámetro de 1,5 y aplicando la Ecuación AIV.18 tenemos:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{1{,}5 * \pi}} \qquad [AIV.18]$$

Donde:

V: Volumen nominal (m^3)

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 4\,783{,}68\ \text{gal} * \frac{3{,}78\ \text{L}}{1\ \text{gal}} * \frac{\text{m}^3}{1\,000\ \text{L}}}{1{,}5 * 3{,}1416}}$$

$$D = 2{,}48\ \text{m}$$

Dado que el volumen es de 18,08 m^3 y el diámetro es 2,48 m entonces el largo es de 3,74 m, por criterio se considera un espesor mínimo de 5 mm (ASTM A 516, 2000, pp. 4-26).

Cálculo de la presión de diseño del tanque.

La presión de diseño del tanque se la calcula mediante la Ecuación AIV.19 (ASTM A 516, 2000, pp. 4-26).

$$\mathrm{Pd} = \mathrm{Pt} * 1{,}2 \qquad [\mathrm{AIV.19}]$$

Donde:

Pt: presión total (psi)

Para calcular la presión total se procede a calcular la presión hidrostática que ejerce el fluido mediante la Ecuación AIV.20 (Afif E., 2004, p.14).

$$\mathrm{Ph} = \frac{\delta * \mathrm{D} * \mathrm{g}}{101\,325\ \mathrm{Pa}} \qquad [\mathrm{AIV.20}]$$

Donde:

δ: densidad del fluido (kg/m^3)
D: diámetro del tanque (m)
g: gravedad (m/s^2)

Así reemplazando los valores correspondientes tenemos:

$$\mathrm{Ph} = \frac{860\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} * 2{,}28\ \mathrm{m} * 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{101\,325\ \mathrm{Pa}} = 0{,}19\ \mathrm{psi}$$

$$\mathrm{Pt} = \mathrm{Ph} + \mathrm{Pa}$$

$$\mathrm{Pt} = 0{,}19\ \mathrm{psi} + 24{,}70\ \mathrm{psi} = 24{,}89\ \mathrm{psi}$$

$$\mathrm{Pd} = \mathrm{Pt} * 1{,}2 = 24{,}89 * 1{,}20 = 29{,}87\ \mathrm{psi}$$

ANEXO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA

AV.1 INVERSIONES

En las Tablas AV.1. – AV.4. se representan los precios de los equipos tomando en consideración lo establecido por el SENAE, los impuestos y aranceles que se añaden al costo unitario del equipo solo son aplicables si éstos fueron adquiridos mediante importación extranjera.

Tabla AV.1. Costo unitario del equipo *Overflow*

Rubro	Costo (USD)
Valor	29 500,00
Movilización	500,00
Valor CFR	30 000,00
Seguro 1 %	300,00
Valor en aduana	30 300,00
FDI (0,5 %)	151,50
Valor Ex Aduana	30 451,50
TOTAL	30 451,50

Tabla AV.2. Costo unitario de la hidroextractora

Rubro	Costo (USD)
Valor	24 900,00
FLETE	300,00
Valor CFR	25 200,00
Seguro 1 %	252,00
Valor en aduana	25 452,00
FDI (0,5 %)	127,26
Valor Ex Aduana	25 579,26

TOTAL	25 579,26

Tabla AV.3. Costo unitario de la Secadora

Rubro	Costo (USD)
Valor	55 000,00
FLETE	600,00
Valor CFR	55 600,00
Seguro 1 %	556,00
Valor en aduana	56 156,00
FDI (0,5 %)	280,78
Valor Ex Aduana	56 436,78
TOTAL	56 436,78

Tabla AV.4. Costo unitario de la Calandra

Rubro	Costo (USD)
Valor	33 400,00
FLETE	300,00
Valor CFR	33 700,00
Seguro 1 %	337,00
Valor en aduana	34 037,00
FDI (0,5 %)	170,19
Valor Ex Aduana	34 207,19
TOTAL	34 207,19

Para el costo del tanque de almacenamiento de diesel se utilizará el método de Williams mediante la Ecuación [AV.1.] (Sinnot, 2005, pp.252-253).

$$\mathrm{Ce} = \mathrm{CS}^{n} \qquad [\mathrm{AV.1}]$$

Donde:

Ce: costo de compra del equipo (USD)

C: constante (USD)

S: volumen del contenedor (m^3)

n: factor que para el caso de tanques horizontales es 0,6

$$\text{Ce} = \text{CS}^{n}$$

$$\text{Ce} = 2\,300\ (\text{USD}) * (\ 11{,}70\ m^3)^{0{,}6} = 10\,060{,}96\ \text{USD}$$

AV.2 COSTOS FIJOS

Para el cálculo del salario se tomará como ejemplo el sueldo de un operador de planta el cual cumple una jornada laboral del 12 horas, el aporte al IESS por fondos es una cantidad estipulada del 11,15 % el cual debe cubrir la fábrica como un costo fijo por cada operador de planta.

$$\textbf{Aporte al IESS} = 11{,}15\ \%\ \text{Salario Mensual (USD)}$$

Para el caso de un operador de tintorería su salario mensual es de 757,80 USD.

$$\textbf{Aporte al IESS} = 11{,}15\ \% * 757{,}80\ (\text{USD})$$

$$\textbf{Aporte al IESS} = 84{,}49\ (\text{USD})$$

$$\textbf{Pago mensual} = \text{Aporte al IESS} + \text{Salario mensual (USD)}$$

$$\textbf{Pago mensual} = 84{,}49 + 757{,}80\ = 842{,}29\ (\text{USD})$$

$$\textbf{Pago anual} = 12 * \text{salario mensual (USD)}$$

$$\textbf{Pago anual} = 12 * 842{,}29 = 10\,107{,}48\ (\text{USD})$$

El décimo tercero está contemplada en la ley como un salario mensual sin aportación al igual que los fondos de reserva, mientras que el décimo cuarto es un salario básico (Ministerio del Trabajo, 2017). Estas bonificaciones salariales son sumadas al pago anual del operador y este da como resultado el total anual que la fábrica debe cubrir como salario de un operador de tintorería, en la planta se trabajan con 4 operadores de tintorería y 2 operadores para la hidroextractora y la secadora, teniendo un total de 6 operadores.

$$\textbf{Pago total anual} = (\text{pago anual} + \text{décimo tercero} + \text{décimo cuarto} + \text{fondos de reserva}) * \text{número de operadores}$$

$$\textbf{Pago total anual} = (10\,107{,}48 + 757{,}80 + 375{,}00 + 757{,}80) * 6{,}00$$

$$\textbf{Pago total anual} = 71\,988{,}48 \text{ USD}$$

AV.3 COSTOS OPERATIVOS

En la Tabla AV.5 se muestra el consumo de energía que presenta cada equipo durante un día de operación, considerando que los equipos de tinturación *Overflow*, los datos para obtener las horas de operación se las obtuvo de la Tabla 4.1. correspondiente a la planificación de los equipos de la planta y el costo kW-h es 0,07 USD especificada en la Tabla 3.4.

Tabla AV.5. Costo del consumo de energía de los equipos principales

Equipo	Operación (horas/mes)	Potencia (kW)	Consumo (kW-h)	Costo mensual (USD)	Costo anual (USD)
Overflow Fong's	112	14,50	1 624,00	113,68	1 364,16
Overflow Thies	112	15,50	1 736,00	121,52	1 458,24
Overflow Devrekha	112	13,50	1 512,00	105,84	1 270,08
Overflow Tecninox	112	12,00	1 344,00	94,08	1 128,96
Hidroextractora	444	7,60	3 374,40	236,21	2 834,52
Secadora	444	15,00	6 660,00	466,20	5 594,40
Calandra	184	20,00	3 680,00	257,60	3 091,20
				TOTAL	16 741,54

Del balance de masa se puede obtener que la cantidad de agua necesaria para el proceso de tinturación que es de 115 m^3 por parada, esta cantidad de agua cubre 2 días de operación, del balance de energía se puede observar que la cantidad de combustible requerido es de 29 538,07 gal/mes, se tiene que el caldero opera un promedio de 108 semanas lo cual dá un dato de operación de 432 horas mensuales, en base a estos resultados en la Tabla AV.6. se determinó el costo por consumo de agua y combustible utilizando los precios establecidos en la Tabla 5.8.

Tabla AV.6. Costo del consumo anual de agua y combustible

Descripción	Consumo anual	Costo total (USD)
Agua	16 560,00 m^3	11 923,20

Combustible	111 870,72 Gal	89 496,57
	TOTAL	101 419,77

Calculo de los costos del tratamiento de efluentes líquidos

A partir del balance de masa se determinó que la cantidad de efluentes generados es de 112 005,06 kg/día

$$112\,005{,}06\ \frac{\text{kg}}{\text{día}} * \frac{1\ \text{m}^3}{1\,000\ \text{kg}} * \frac{24\ \text{días laborables}}{1\ \text{mes}} = 2\,688{,}12\ \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

$$2\,688{,}12\ \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} * \frac{0{,}43\ \text{USD}}{\text{m}^3} * \frac{12\ \text{meses}}{1\ \text{año}} = 13\,870{,}69\ \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

AV.4 INGRESOS

Para el cálculo del ingreso por venta de la tela se partió de la producción mensual de tela la cual es de 31,20 t/mes

$$31{,}20\ \frac{\text{t}}{\text{mes}} * \frac{1\,000\ \text{kg}}{1\ \text{t}} * \frac{12\ \text{meses}}{1\ \text{año}} = 374\,400{,}00\ \text{kg}$$

Calculo del número de rollos totales:

$$374\,400{,}00\ \text{kg} * \frac{1\ \text{rollo}}{22\ \text{kg}} = 17\,018{,}18\ \approx 17\,018\ \text{rollos}$$

Ingreso de venta en el primer año:

$$17\,018\ \text{rollos} * 0{,}60 * \frac{200\ \text{USD}}{\text{rollo}} = 2\,042\,160{,}00\ \text{USD}$$

Ingreso de venta para el resto de años:

$$17\ 018\ \text{rollos} * 0{,}90 * \frac{200\ \text{USD}}{\text{rollo}} = 3\ 063\ 240{,}00\ \text{USD}$$

AV.5 INDICADORES DE LA RENTABILIDAD

Para el cálculo del VAN, se aplicó la Ecuación AV.2 utilizando los datos del flujo de caja de la Tabla 5.10. del Capítulo 5 (Loreto, Sara y Alfonso, 2007, p. 229).

$$\text{VAN} = \text{Fo} + \frac{\text{F}_1}{(1+\text{Td})} + \frac{\text{F}_2}{(1+\text{Td})^2} + \cdots + \frac{\text{F}_\text{n}}{(1+\text{Td})^\text{n}} \qquad [\text{AV. 2}]$$

Donde:

F: Flujo de caja en cada año

Td: tasa de descuento establecida por el banco central del Ecuador

$$\text{VAN} = -2\ 761\ 110{,}50 + \frac{636\ 454{,}28}{(1+0{,}1)} + \frac{1\ 282\ 885{,}43}{(1+0{,}1)^2} + \frac{1\ 263\ 851{,}22}{(1+0{,}1)^3} + \frac{1\ 242\ 873{,}62}{(1+0{,}1)^4} + \frac{1\ 219\ 754{,}20}{(1+0{,}1)^5} + \frac{1\ 194\ 274{,}29}{(1+0{,}1)^6} + \frac{1\ 166\ 192{,}89}{(1+0{,}1)^7} + \frac{1\ 135\ 244{,}37}{(1+0{,}1)^8} + \frac{1\ 101\ 136{,}01}{(1+0{,}1)^9} + \frac{1\ 063\ 545{,}18}{(1+0{,}1)^{10}}$$

$$\text{VAN} = 4\ 150\ 649{,}39\ \text{USD}$$

Calculo del TIR.

Para el cálculo del TIR, se tomó la función VAN y se igualó a cero con el fin de encontrar la tasa interna de retorno tal como se indica en la Ecuación AV.3.

$$0 = \text{Fo} + \frac{\text{F}_1}{(1+\text{TIR})} + \frac{\text{F}_2}{(1+\text{TIR})^2} + \cdots + \frac{\text{F}_\text{n}}{(1+\text{TIR})^\text{n}} \qquad [\text{AV. 3}]$$

$$0 = -2\,761\,110{,}50 + \frac{636\,454{,}28}{(1+\text{TIR})} + \frac{1\,282\,885{,}43}{(1+\text{TIR})^2} + \frac{1\,263\,851{,}22}{(1+\text{TIR})^3} + \frac{1\,242\,873{,}62}{(1+\text{TIR})^4} + \frac{1\,219\,754{,}20}{(1+\text{TIR})^5} + \frac{1\,194\,274{,}29}{(1+\text{TIR})^6} + \frac{1\,166\,192{,}89}{(1+\text{TIR})^7} + \frac{1\,135\,244{,}37}{(1+\text{TIR})^8} + \frac{1\,101\,136{,}01}{(1+\text{TIR})^9} + \frac{1\,063\,545{,}18}{(1+\text{TIR})^{10}}$$

$$\text{TIR} = 0{,}2762 = 27{,}62\ \%$$