



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Automatización del proceso de teñido de prendas de vestir en la
lavandería industrial textil "PROLAVTEX".**

Pérez Pintado, José Andrés y Proaño Alomaliza, Luis Enrique

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica

Centro de Posgrado

Maestría en Electrónica y Automatización Mención Redes Industriales

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Electrónica y

Automatización Mención Redes Industriales

Ing. Rivas Lalaleo, David Raimundo Ph.D.

06 de julio de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Tesis_Perez_Proaño_VI_revisar2.pdf

Scanned on: 16:34 December 16, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	401
Words with Minor Changes	145
Paraphrased Words	359
Omitted Words	0

Firma:

A handwritten signature in black ink, appearing to be "D. Rivas", written over a horizontal line.

.....
Ing. Rivas Lalaleo, David Raimundo Ph.D.

DIRECTOR

C.C: 1802445302



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Automatización del proceso de teñido de prendas de vestir en la lavandería industrial textil PROLAVTEX”** fue realizado por los señores **Pérez Pintado, José Andrés** y **Proaño Alomaliza, Luis Enrique**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 06 de julio del 2023

Ing. Rivas Lalaleo, David Raimundo Ph.D.

DIRECTOR

C.C: 1802445302



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Responsabilidad de Autoría

Nosotros **Pérez Pintado, José Andrés** y **Proaño Alomaliza, Luis Enrique**, con cédulas de ciudadanía n° **1804599791** y **1804710356**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Automatización del proceso de teñido de prendas de vestir en la lavandería industrial textil PROLAVTEX** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 06 de julio del 2023

.....
Ing. Pérez Pintado, José Andrés
C.C.: 1804599791

.....
Ing. Proaño Alomaliza, Luis Enrique
C.C.: 1804710356



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Autorización de Publicación

Nosotros **Pérez Pintado, José Andrés** y **Proaño Alomaliza, Luis Enrique**, con cédulas de ciudadanía n° **1804599791** y **1804710356**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Automatización del proceso de teñido de prendas de vestir en la lavandería industrial textil PROLAVTEX** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 06 de julio del 2023

.....
Ing. Pérez Pintado, José Andrés
C.C.: 1804599791

.....
Ing. Proaño Alomaliza, Luis Enrique
C.C.: 1804710356

Dedicatoria

José A. Pérez P.

Dedicatoria

A mis padres José y Miriam por ser el pilar fundamental en mi desarrollo tanto personal y profesional puesto que sin ustedes no sería esto posible, me han formado como una persona de bien con los valores que me han inculcado, firme en mis ideales ya que siempre me han amparado con sus bendiciones y me han enseñado a ser perseverante porque en la vida siempre hay obstáculos, pero los límites se lo ponen uno mismo.

A mi esposa Andrea y mi hija María Emilia por ser esa luz que me impulsa cada día a ser mejor, a mis hermanas Gabriela, Johanna y Vanessa que siempre han estado a mi lado apoyándome incondicionalmente, a mis abuelitos Luis y Mariana que han sido mi complemento en mi vida por sus consejos que me han ayudado a siempre creer en mí porque nada es imposible en la vida, cada logro que he conseguido en mi vida es por todos ustedes.

Luis E. Proaño A.

Dedicatoria

Deseo dedicar este trabajo a aquellas personas que han sido fundamentales en esta travesía académica y personal. En primer lugar, a Dios a mis padres, esposa, hermano y seres queridos, quienes han sido fuente inagotable de amor, apoyo y motivación constante. También quiero expresar un profundo agradecimiento a nuestros profesores y mentores, cuya sabiduría y dedicación han sido inspiradoras y han contribuido significativamente a mi crecimiento intelectual. A nuestros amigos y compañeros, gracias por compartir risas, lágrimas y momentos inolvidables a lo largo de esta travesía. Por último, a todos aquellos que han participado en esta investigación y han brindado su tiempo y conocimientos, extendiendo mi sincero agradecimiento.

Agradecimiento

Primeramente, a Dios por permitirnos alcanzar un logro más en la vida, a cada una de las personas que han compartido sus conocimientos desinteresadamente y nos han impulsado a cumplir cada una de las metas propuestas ya que nos han enseñado con el ejemplo que todo se puede conseguir en la vida con esfuerzo y disciplina

Un agradecimiento muy especial para nuestro tutor el Ing. David Rivas Ph.D. que ha sido una persona fundamental en nuestra formación ya que nos ha impulsado a seguir creciendo profesionalmente y por el apoyo que nos ha brindado para poder concluir nuestro proyecto de titulación.

A nuestros compañeros de clases con los que hemos compartido gratos momentos en los cuales nos hemos desarrollado como profesionales. De igual manera a los trabajadores de la empresa PROLAVTEX que nos han abierto las puertas y nos han transmitido sus conocimientos técnicos que han sido de crucial importancia para el desarrollo de este proyecto.

José A. Pérez P.

Luis E. Proaño A.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido	8
Índice de figuras	13
Índice de tablas.....	16
Resumen.....	18
Abstract	19
Capítulo I : Introducción.....	20
Antecedentes.....	20
Problema.....	22
Objetivo general	23
Objetivos específicos.....	23
Justificación, importancia y alcance del proyecto.....	23
Hipótesis de investigación	24
<i>Categorización de las variables de investigación (variables independiente y dependiente).....</i>	<i>25</i>
Capítulo II : Fundamentación teórica y referencial.....	27
Proceso de Tintura	27
<i>Tintura Textil.....</i>	<i>27</i>

Proceso Reactivo	28
<i>Clasificación de los colorantes reactivos.....</i>	<i>28</i>
<i>Proceso de tintura reactiva.....</i>	<i>29</i>
<i>Pretratamiento.....</i>	<i>29</i>
<i>Tintura de algodón</i>	<i>33</i>
<i>Tiempo de agotamiento</i>	<i>37</i>
<i>Proceso antes del enjabonado.....</i>	<i>38</i>
<i>Enjabonado o eliminación del hidrolizado</i>	<i>38</i>
<i>Suavizado en colorantes reactivos</i>	<i>40</i>
Proceso Directo.....	40
<i>Tratamientos posteriores a los colorantes directos</i>	<i>43</i>
<i>Recomendaciones Generales.....</i>	<i>43</i>
Automatización Industrial.....	45
<i>Control de procesos industriales.....</i>	<i>45</i>
<i>Elementos de un Sistema de Control.....</i>	<i>46</i>
<i>Estrategias de Control</i>	<i>47</i>
<i>Control ON-OFF.....</i>	<i>47</i>
<i>Control ON-OFF con Histéresis.....</i>	<i>47</i>
<i>Control PID</i>	<i>48</i>
<i>Control Difuso</i>	<i>50</i>
<i>Sensores.....</i>	<i>52</i>
<i>Sensores de Temperatura.....</i>	<i>52</i>
<i>Medición de Nivel de Líquidos.....</i>	<i>54</i>
<i>Medición de pH.</i>	<i>55</i>
Maquinaria Industrial:	57
<i>Definición de lavadora industrial</i>	<i>57</i>

<i>Evolución de las máquinas lavadoras</i>	58
<i>Principio de funcionamiento de una lavadora industrial</i>	59
<i>Tipos de lavadoras industriales</i>	59
Lavadora horizontal.....	59
Lavadora Vertical.....	60
Productividad	61
<i>Eficacia</i>	61
<i>Eficiencia</i>	61
<i>Relación entre Productividad, Eficacia y Eficiencia</i>	62
Capítulo III: Método de Investigación	63
Descripción de la empresa Prolavtex	63
<i>Organigrama</i>	63
<i>Descripción de la planta</i>	64
Caldero.....	66
Planta de Tratamiento de Agua.....	69
Planta de Producción	72
Bodegas de producto textil	75
Bodega de químicos.....	76
<i>Descripción de la máquina</i>	76
Funcionamiento de la máquina vertical.	77
<i>Consideraciones de la máquina para el proceso de tintura</i>	82
El tiempo de rotación de cuerda.....	82
Modulación de la temperatura.	83
<i>Variables a controlar en la máquina</i>	84
<i>Proceso de teñido</i>	84
<i>Control de Calidad</i>	86

<i>Elementos para la automatización de la máquina vertical</i>	87
Caracterización del controlador.	87
Caracterización de los sensores.	87
Material consumible.	87
Capítulo IV: Implementación	88
Esquema del proceso para automatizar	88
<i>Variables del controlador</i>	88
Señales de Entrada.....	89
Señales de Salida.....	90
<i>Filosofía de Control</i>	91
<i>Alarmas</i>	93
<i>Diagrama eléctrico y de Conexión</i>	93
<i>Equipos e instrumentos</i>	95
Controlador Lógico Programable.	95
Módulos de expansión Logo.....	97
Pantalla HMI.	98
Fuente de alimentación.	99
Sensores.....	99
<i>Sensor de Nivel.</i>	99
<i>Sensor de Temperatura</i>	100
Actuadores.....	101
<i>Válvula solenoide neumático.</i>	101
<i>Bloque de válvulas neumáticas</i>	102
Instalación	103
Capítulo V: Resultados.....	108
Balance de la empresa	108

<i>Datos de prendas conformes e inconformes</i>	108
<i>Costo de prendas inconformes</i>	109
<i>Indicadores de consumo</i>	111
<i>Desempeño del proceso</i>	112
Análisis de Producción Tintura Reactiva	112
Análisis de las Variables	113
<i>Análisis de Productividad</i>	115
<i>Análisis Financiero</i>	117
<i>Flujo de caja</i>	117
<i>Producto Final</i>	119
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	121
Conclusiones	121
Recomendaciones	123
Trabajos Futuros	124
Bibliografía	125
Anexos	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Procesos de tintura en tejido APT</i>	29
Figura 2 <i>Proceso de tintura directa</i>	42
Figura 3 <i>Elementos de un sistema clásico de Control</i>	45
Figura 4 <i>Curvas de A) Conmutación simple y B) Conmutación con Histéresis</i>	48
Figura 5 <i>Estructura del Control PID</i>	49
Figura 6 <i>Esquema general de un controlador difuso</i>	50
Figura 7 <i>Lavadora horizontal</i>	60
Figura 8 <i>Lavadora Vertical</i>	60
Figura 9 <i>Relación entre productividad, eficacia y eficiencia</i>	62
Figura 10 <i>Organigrama</i>	64
Figura 11 <i>Distribución de la planta</i>	65
Figura 12 <i>Caldero</i>	66
Figura 13 <i>Contenedor de diésel para uso del caldero</i>	67
Figura 14 <i>Contenedor de diésel y señalética para uso del caldero</i>	68
Figura 15 <i>Cubeta contenedora en caso de derrames de diésel</i>	68
Figura 16 <i>Etapas del tratamiento de agua</i>	69
Figura 17 <i>Área de Lavandería</i>	74
Figura 18 <i>Área de Secado</i>	74
Figura 19 <i>Bodega de tela Jeans</i>	75
Figura 20 <i>Bodega de tela APT</i>	75
Figura 21 <i>Bodega de químicos auxiliares y tinturas</i>	76
Figura 22 <i>Bodega de químicos controlados</i>	76
Figura 23 <i>Descripción general de la máquina vertical</i>	77
Figura 24 <i>Motor 7 hp de la máquina vertical</i>	78
Figura 25 <i>Variador de frecuencia para el Motor 7 hp de la máquina vertical</i>	78

Figura 26	<i>Bandas de unión del motor con la canasta</i>	79
Figura 27	<i>Tolva ingreso de químicos al tambor</i>	80
Figura 28	<i>Compuerta de ingreso de material textil</i>	80
Figura 29	<i>Sistema de ingreso de Agua</i>	81
Figura 30	<i>Relación entre eficacia, eficiencia y productividad</i>	81
Figura 31	<i>Desfogue de la máquina vertical</i>	82
Figura 32	<i>Proceso definido por la empresa</i>	85
Figura 33	<i>Automatización del proceso</i>	88
Figura 34	<i>Diagrama de señales</i>	89
Figura 35	<i>Modo de control</i>	91
Figura 36	<i>Estrategia de control</i>	92
Figura 37	<i>Diagrama del Sistema de Control</i>	93
Figura 38	<i>Diagrama de conexión de la válvula de agua y vapor</i>	94
Figura 39	<i>Diagrama de conexión de la válvula de desfogue</i>	94
Figura 40	<i>Diagrama de conexión de los dispositivos</i>	95
Figura 41	<i>PLC Logo</i>	96
Figura 42	<i>Módulo AM2 RTD</i>	97
Figura 43	<i>Logo TDE</i>	98
Figura 44	<i>Logo Power DC 24V</i>	99
Figura 45	<i>Sensor de nivel líquido flotador en Acero Inoxidable</i>	100
Figura 46	<i>Sensor de temperatura Pt100</i>	101
Figura 47	<i>Válvula solenoide neumático</i>	102
Figura 48	<i>Bloque de válvulas neumáticas</i>	103
Figura 49	<i>Tablero de Control</i>	104
Figura 50	<i>Tablero de Control: protecciones y fuente de alimentación</i>	104
Figura 51	<i>Tablero de Control: PLC Logo</i>	105

Figura 52 <i>Tablero de Control: Variador de Frecuencia</i>	105
Figura 53 <i>Bloque de válvulas neumáticas</i>	106
Figura 54 <i>Instalación sensor de temperatura</i>	107
Figura 55 <i>Instalación sensor de nivel</i>	107
Figura 56 <i>Consumo de combustible</i>	111
Figura 57 <i>Consumo eléctrico</i>	111
Figura 58 <i>Consumo de agua</i>	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables.....	26
Tabla 2 Clasificación de los colores textiles.....	27
Tabla 3 Clasificación de los colorantes reactivos.....	28
Tabla 4 Parámetros de verificación.....	32
Tabla 5 Dosificación de la sal textil.....	35
Tabla 6 Porcentajes por color.....	37
Tabla 7 Tiempo de agotamiento	37
Tabla 8 Temperaturas óptimas por color	39
Tabla 9 Colorantes directos.....	41
Tabla 10 Recomendaciones en la planta.....	44
Tabla 11 Acciones de las constantes del Controlador PID.....	50
Tabla 12 Dispositivos para medición de temperatura.....	53
Tabla 13 Rangos de medición de temperatura	54
Tabla 14 Métodos de medición del nivel de agua	55
Tabla 15 Tipo de sensores para pH.....	56
Tabla 16 Elementos presentes en la planta de tratamiento de agua.....	70
Tabla 17 Máquinas por sección y características.....	73
Tabla 18 Acciones del Motor dentro del proceso de tintura.....	78
Tabla 19 Características de la tubería para Agua y Vapor.....	81
Tabla 20 Variables esenciales controladas en la máquina.....	84
Tabla 21 Control de calidad.....	86
Tabla 22 Señales de Entrada	90
Tabla 23 Señales de Salida.....	90
Tabla 24 Características del PLC Logo	96
Tabla 25 Módulo AM2 RTD	97

Tabla 26 <i>Características de la pantalla Logo TDE</i>	98
Tabla 27 <i>Características Logo Power DC 24V</i>	99
Tabla 28 <i>Características del sensor de nivel</i>	100
Tabla 29 <i>Características del sensor de temperatura</i>	101
Tabla 30 <i>Características de la válvula solenoide neumático</i>	102
Tabla 31 <i>Características del bloque de válvulas neumáticas neumático</i>	103
Tabla 32 <i>Prendas conformes e inconformes</i>	108
Tabla 33 <i>Costos de prendas inconformes</i>	110
Tabla 34 <i>Prendas procesadas</i>	112
Tabla 35 <i>Prendas reprocesadas</i>	112
Tabla 36 <i>Valores recomendados de cada subprocesso</i>	113
Tabla 37 <i>Valores observados antes de la automatización</i>	114
Tabla 38 <i>Valores onservados después de la automatización</i>	114
Tabla 39 <i>Costo del proyecto</i>	117
Tabla 40 <i>Mantenimiento de la máquina</i>	118
Tabla 41 <i>Flujo de caja</i>	119
Tabla 42 <i>Producto Final</i>	120

Resumen

La automatización es uno de los principales objetivos de las pequeñas, medianas y grandes empresas con el fin de una mejora a sus productos de manera eficiente y eficaz con el menor consumo de recursos para ser competitivos en el entorno empresarial. En la industria textil nacional existe una decadencia tecnológica respecto a los procesos de tintura puesto que actualmente las máquinas dentro de estos procesos funcionan manualmente con lógica cableada dependiendo de la experticia de los maquinistas. La empresa PROLAVTEX ubicada en Ambato realiza los procesos de teñido sobre tejidos textiles, dentro de la planta de producción disponen de máquinas lavadoras, centrifugadoras y secado con funcionamiento manual. En el proceso de teñido intervienen variables como: temperatura, el nivel y el tiempo, estas variables al no permanecer en rangos especificados pueden causar prendas teñidas de baja calidad, tonos dispares de tintura, manchas o desgaste en la fibra, estos problemas pueden ser arreglados mediante un reproceso, pero en el caso de que exista un daño de la licra sería una pérdida total del lote procesado asumiendo los gastos de las prendas la empresa. Por eso la necesidad de mantener el control de estas variables para garantizar la calidad del producto terminado que conlleva a un ahorro económico a la empresa y aumento en la demanda permitiendo a la empresa competir en nuevos mercados. La presente investigación describe la automatización del proceso de teñido en la máquina lavadora industrial, basado en las condiciones de lavado establecidas por la empresa. Con un respectivo análisis de las variables que intervienen en el proceso para realizar la selección de equipos que cumplan los estándares del proceso para su posterior implementación, calibración y validación. Una vez automatizado se pudo evidenciar un aumento en la productividad de 96.6% respecto al 90.3% que se presentaba al inicio, esto representa un ahorro económico, mejora de calidad, disminución de riesgos para maquinistas y aporte al cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: control industrial, lavado textil, lavadora vertical de teñido.

Abstract

Automation is one of the main objectives of small, medium and large companies in order to improve their products efficiently and effectively with the least consumption of resources to be competitive in the business environment. In the national textile industry there is a technological decline regarding the dyeing processes since currently the machines within these processes work manually with wired logic depending on the expertise of the machinists. The PROLAVTEX company located in Ambato carries out the dyeing processes on textile fabrics, within the production plant they have washing machines, centrifuges and drying machines with manual operation. Variables such as: temperature, level and time intervene in the dyeing process, these variables, by not staying within specified ranges, can cause low-quality dyed garments, uneven dye tones, stains or wear on the fiber, these problems can be fixed by means of a reprocessing but in the event that there is damage to the lycra it would be a total loss of the processed lot, assuming the expenses of the garments by the company. For this reason, the need to maintain control of these variables to guarantee the quality of the finished product that leads to economic savings for the company and an increase in demand, allowing the company to compete in new markets. The present investigation describes the automation of the dyeing process in the industrial washing machine, based on the washing conditions established by the company. With a respective analysis of the variables involved in the process to make the selection of equipment that meets the standards of the process for its subsequent implementation, calibration and validation. Once automated, it was possible to show an increase in productivity of 96.6% compared to the 90.3% that was presented at the beginning, this represents economic savings, quality improvement, risk reduction for drivers and contribution to environmental care.

Key words: industrial control, textile washing, vertical dyeing washer.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Según (Moreno, 2001) el término autómatas es aquella clase de máquinas en las que sus partes principales se conforman por una fuente de energía la cual acciona un mecanismo ingeniosamente combinado y ordenado, permitiendo de esta manera asimilar movimientos de seres animados, según La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas da un significado a la automatización (Ponsa & Granollers, 2009) como la conjugación entre métodos y procedimientos cuyo propósito es evitar la interacción parcial o total del operario en tareas físicas y toma de acciones programadas, de esta definición se describe a la automatización como la aplicación de la automática orientado a control de procesos industriales.

En los últimos años de acuerdo con (Sanchis, Romero , & Ariño , 2010) se ha mantenido la tendencia de automatizar procesos productivos de una manera progresiva y ordenada, dicha tendencia se sigue cumpliendo por el continuo desarrollo de la tecnología. El desarrollo de la tecnología que va hacia el cumplimiento de la calidad y productividad en el campo del teñido de fibras textiles consigue una inserción en los principales países textiles del mundo, tomando un impacto significativo en Asia, el Norte de Europa y en la mayor parte de la región de América del norte. En Latinoamérica, en países industrializados como Brasil, Colombia y Argentina (LLAMUCA, 2009), han adoptado la automatización de sus procesos de teñido con máquinas que faciliten la realización de varias tareas repetitivas, pesadas y peligrosas como una forma óptima para la fabricación de textiles desde un proceso de confección hasta la entrega al consumidor final, intentando lograr la estandarización de procesos y productos con altos estándares de calidad, repetitividad y reproducibilidad.

Según (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador, 2017) la Asociación de Industrias Textiles del Ecuador (AITE), es la segunda industria manufacturera en

ofrecer más plazas de empleo en el Ecuador, sin embargo, según (Villacis & Pazmiño , 2018) determina que la variable tecnología, es decir la automatización es un pilar fundamental para la productividad en el proceso textil con el objetivo de poder tener un alto estándar de calidad y llegar a ser competitivos en el mercado global.

La aparición de máquinas con sistemas de control ha dado paso al desarrollo del campo textil. En el Ecuador, el mercado textil actual demanda altos estándares de calidad en sus productos que cumplan con las exigencias del mercado nacional e internacional, la industria textil debe ser capaz de fabricar productos que cumplan con las especificaciones que demandan los clientes, la necesidad de aumentar la competitividad en los mercados obliga a la industria textil a mantenerse en un proceso de mejora continua e innovaciones no solo de diseño si no a nivel tecnológico, que impliquen una mejora de procesos encaminados a la reducción de costos y la mejora de la calidad del producto (NUÑEZ, 2021). Dentro del Ecuador las provincias con más alto número de industrias destinadas a la producción textil son: Guayas, Pichincha, Imbabura, Tungurahua y Azuay.

De acuerdo al diagnóstico del nivel de automatización en las pequeñas y medianas empresas industriales de Cuenca (Sánchez & Pizarro, 2010) se identificó que el nivel de automatización que se destaca es el sector de prendas de vestir en un 41.42% , con el cual se busca que sea considerado como una de las líneas base para el desarrollo en el área de investigación, desarrollo e innovación tecnológico, aporte para la selección de decisiones por parte de las empresas y del Gobierno en nuevos proyectos, este valor determina que es importante evitar la manipulación de los productos que intervienen en el proceso , el control sobre los tiempos de trabajo y la cantidad que se usa de materia prima para los diferentes procesos (PEREZ RODRIGUEZ, 2018).

Problema

Dentro del proceso de teñido de prendas de vestir de algodón y poli algodón existen varios problemas al momento de teñir el tejido, por motivos de composición del tejido, tiempos de subprocesos, químicos utilizados, personal a cargo y variables como: temperatura dentro de la máquina, estado del agua (pH, dureza), nivel de agua, gradiente de ingreso de vapor a la máquina. En la empresa “PROLAVTEX” existe un problema en la deficiente calidad del teñido de prendas de vestir debido a que el proceso de tinte en la máquina “lavadora 1” se controla todos los procesos de forma manual, lo que conlleva a que los operadores tengan que estar pendientes a cada momento del funcionamiento correcto de la maquinaria y de los diferentes eventos que el proceso de teñido demanda, con lo cual se limitan las actividades de cada persona y no se garantiza un estándar y calidad deseado.

En varias instancias dentro de la empresa PROLAVTEX no se cumplen todas las etapas de teñido y los ciclos térmicos ya establecidos por la receta, por el motivo que la máquina no permite el control de las operaciones de calentamiento de manera óptima y tiempos claves del proceso. Además, los operarios tienen la plena libertad para cambiar la receta de teñido provocando que esta no sea estandarizada para cada tipo de tela o color requerido por el cliente final.

Los problemas descritos anteriormente dentro de la empresa “PROLAVTEX” generan altos costos de producción por consecuencia del desperdicio de materiales, uso excesivo de recursos y productos rechazados en lote, de igual manera esto provoca reprocesos los cuales se considera como teñidos mal realizadas o de baja calidad, el costo que conlleva un reproceso es alto puesto que se debe utilizar productos para eliminar defectos e igualar colores o en el último de los casos se debe realizar la reposición de prendas a los clientes, por estos motivos la empresa no puede ser competitiva a nivel nacional e internacional por lo que es necesario garantizar la calidad mediante un control adecuado del proceso de teñido.

Objetivo general

Automatizar el proceso de teñido de prendas de vestir en la lavandería industrial textil "PROLAVTEX".

Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de información del proceso de teñido establecido dentro de la empresa para definir las condiciones que garantiza la calidad del proceso.
- Diseñar la automatización del proceso de teñido de la máquina "lavadora 1" bajo los requerimientos de la empresa para definir los componentes necesarios.
- Implementar la automatización basado en las características de la máquina "lavadora 1" con sus respectivas operaciones definidas por la empresa.
- Evaluar los resultados obtenidos de la automatización del proceso.

Justificación, importancia y alcance del proyecto

La automatización y el control de procesos industriales contribuye en mejorar los servicios prestados de las empresas locales con el fin de expandir el área de impacto de la empresa o en la búsqueda de alguna certificación. Este proyecto permite adoptar nuevas tecnologías no solo a la empresa "PROLAVTEX" sino también a la industria ecuatoriana en general, lo que le permite enfrentar nuevos retos de la competencia global. Igualmente nos permite mantener una continua innovación tecnológica maximizando sus ventajas al ser integradas en la organización, de tal manera que se pueda estandarizar la manufactura en la empresa basado en los criterios de seguridad y calidad de sus productos mediante el control secuencial de los procedimientos y la supervisión de los subprocesos que integra el teñido como son los de descruce, fijado, suavizado, siliconado, etc.

El presente trabajo permitirá una mejora continua en la calidad del teñido de prendas, optimizando el uso de recursos que converge a un ahorro en: costo de reprocesamiento,

evitando la devolución parcial o total de prendas; con esto se garantizará un aumento de la demanda puesto que se establecerá tiempo de entrega estandarizados manteniendo una calidad alta para competir en nuevos mercados y aumentar los tiempos de garantía. Respecto a seguridad, se considerarán flujos de trabajo disminuyendo el peligro al manipular la máquina, además al mantener control sobre las variables que intervienen en el proceso de teñido se obtendrá un uso eficiente de los recursos como agua, vapor (combustible) y energía que fomentan un cuidado medio ambiental de la empresa.

La integración de recursos tecnológicos promueve la estandarización de los procesos que garantiza la optimización de los resultados de la empresa "PROLAVTEX" con la automatización, produciendo un impacto positivo en la generación de puestos de trabajo porque se puede llevar un diagnóstico más técnico del estado de la máquina contrastando los datos con las técnicas de análisis del personal de mantenimiento para predecir fallos, adicionalmente se requiere profesionales para actualizar el firmware de los equipos con el fin de mantener en un estado óptimo de funcionamiento las máquinas automatizadas.

De igual manera se cuenta con el soporte de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE en lo que se refiere a tutorías con profesionales capacitados respecto a los últimos avances respecto a las áreas de automatización y control complementado con la información bibliográfica disponible para el desarrollo del proyecto.

Hipótesis de investigación

La automatización de la máquina "lavadora 1" del proceso de teñido permitirá el aumento de la productividad.

Categorización de las variables de investigación (variables independiente y dependiente).

En consecuencia, de la hipótesis planteada se identifican dos variables:

- ***Variable Independiente:*** *Automatización*
- ***Variable Dependiente:*** *Productividad*

La operacionalización de las variables se muestra en la Tabla 1 .

Tabla 1*Operacionalización de Variables*

VARIABLE	TIPOS	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Automatización	Independiente	La automatización consiste en usar la tecnología para realizar tareas con la mínima intervención de las personas. Se puede implementar en cualquier proceso en el que se realiza tareas repetitivas. Cabe destacar que es más común en aquellos procesos relacionados con la producción, ensamblaje de automóviles, así como en el software empresarial y sus sistemas adyacentes.	La automatización permite mantener en un rango establecido una variable física sin la intervención humana.	Automatización fija, programable, flexible e integrada.	Tipos Controladores
Productividad	Dependiente	Es una dimensión económica que permite calcular: cantidad de bienes y servicios que se han producido por cada factor utilizado como mano de obra, tiempo, capital, materiales, etc., en un periodo determinado.	Es la relación obtenida entre la producción obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para alcanzar dicha producción	Número, Porcentajes.	Eficacia Eficiencia Productividad

Capítulo II

Fundamentación teórica y referencial

Proceso de Tintura

Tintura Textil

Actualmente en la industria se ocupan colorantes sintéticos y su producción a nivel mundial está sobre el millón de toneladas anuales, siendo un 50% de colorantes textiles. Los principales continentes de producción son Asia y Europa, en países como: Alemania, Inglaterra, Suiza, Japón, Taiwán, Korea , India, China, México y Brasil (A. Bes-Piá, 2009). Los colorantes sintéticos al compararlos con los naturales presentan ventajas como: menor costo y mayor resistencia a diversos factores ambientales y de uso al lavado, resistencia al frote, a la luz solar, etc. Por otro lado, dichas ventajas de resistencia hacen a los colorantes sintéticos más resistentes a la biodegradación y a los tratamientos para su eliminación de los afluentes.

En la Tabla 2 se resume la clasificación química y la clasificación de uso, basada en las categorías del *Colour Index*. A continuación de la tabla se encuentra una breve descripción de algunos de los colorantes más importantes en la clasificación tintórea (A. Bes-Piá, 2009).

Tabla 2

Clasificación de los colores textiles

Clasificación según su Química	Clasificación según su uso o Tintórea
Antraquinónicos	Ácidos
Azoicos	Básicos
Derivados de Ftalocianina	Dispersos
Heterocíclicos Indigoides	Reactivos
Estilbénicos	Directos
Polimetínicos	Sulfurosos
Trifenilmetánicos	Pigmentos
Sulfurosos	Azoicos sobre fibra

Dentro de Prolavtex se centran en los procesos con colorantes tanto directos como reactivos por sus características y costos que se manejan en el mercado local, con utilización de 80% de colorantes reactivos y el resto directos, debido a que la tendencia de moda implica colores cada vez intensos y una variedad amplia.

Proceso Reactivo

Este tipo de colorantes forman con la fibra enlaces covalentes, lo cual ayuda a que sus propiedades de solidez al lavado sean muy buenas. Pueden ser aplicados sobre algodón principalmente y en una proporción menor sobre lana y nylon. De la misma forma que los colorantes directos son colorantes aniónicos solubles en agua; no obstante, sus químicas son más simple, por lo que sus bandas de absorción son más estrechas, por este motivo son colorantes con mayor grado de brillantez (A. Bes-Piá, 2009). Los colorantes reactivos se destacan por: colores de alta solidez en la humedad y a la luz, tonos muy brillantes y de amplia gama de colores; amplio rango temperaturas de aplicación, tiempos prolongados de aplicación y precios relativamente bajos.

Clasificación de los colorantes reactivos

La clasificación de los colorantes reactivos se los organiza por estructuras químicas.

Tabla 3

Clasificación de los colorantes reactivos

Tipo	Características
1.	Colorantes (fríos) baja temperatura, alta reactividad y media sustentividad. Tiñen a una temperatura 30 – 50 °C.
2.	Colorantes de temperatura media (tibios), poseen reactividad y sustentividad media. Tiñen a 60 °C.
3.	Colorantes (calientes) temperatura alta, reactividad baja y sustentividad alta. Tiñen a temperaturas de 70 – 90 °C.

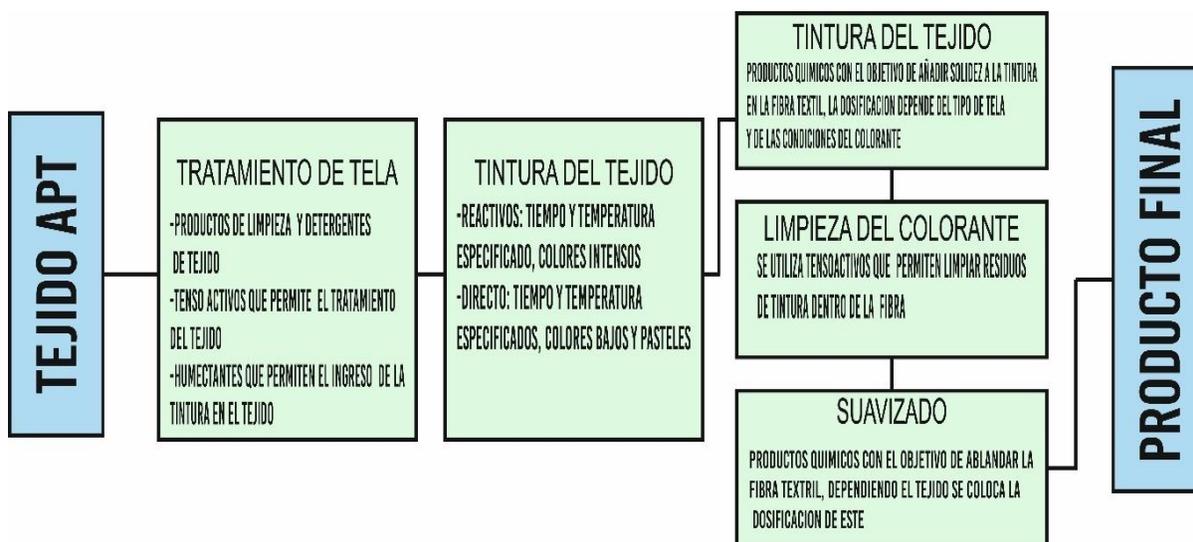
En la Tabla 3 se describe la clasificación de los colorantes reactivos según su reactividad y sustentividad (agotamiento al baño). En la actualidad dentro de Ecuador se usa la de tipo 2 por motivo de la composición de la fibra que se utiliza dentro del ambiente textil nacional.

Proceso de tintura reactiva

Como se muestra en la Figura 1 existen una serie de pasos para el teñido de prendas elaboradas en tela APT (Aptas para Teñir).

Figura 1

Procesos de tintura en tejido APT



Pretratamiento

Este proceso tiene como objetivo limpiar y blanquear la tela, se le considera como un pretratamiento antes de la tintura, para ello el agua que está dentro de la maquina debe estar en una temperatura de 50 °C por un tiempo de 30 min y un pH de 12 con las prendas en su interior, adicional a esto se vierten productos con el objetivo de ayudar a la limpieza del proceso.

Antes de la descripción de la dosificación de los productos es necesario conocer algunos términos que nos ayudan a calcular la cantidad de producto que va en cada proceso de tintura:

$$Ptp = \text{número de prendas} * \text{peso de una prenda (Kg)} \quad (2.1)$$

$$Ltm = Ptp * R: b \quad (2.2)$$

Donde:

- **Ptp:** Es el peso total de prendas en Kg que van hacer ingresadas en la máquina, para ello se considera un peso de 0.5 Kg de cada prenda no mojada.
- **Ltm:** Litros totales de la máquina, es la cantidad de líquido que tiene que estar en la máquina
- **R: b:** Relación de baño se le describe como el volumen de agua que se usa por Kg de tela teñido (l/Kg), su control es muy importante realizarlo, validarlo y verificarlo, respecto a lo formulado. El control de la relación de baño incurre esencialmente en la reproducibilidad del color de laboratorio a planta y la repetibilidad del color de lote a lote (batch a batch). Este parámetro es importante para una alta productividad y confiabilidad en los procesos de tintura reactiva. Dicho valor va desde 1:5 (5 l/Kg) hasta 1:10 (10 l/Kg), esto depende de las características estructurales de la maquinaria (diseño de máquina). Para el proceso de pretratamiento dentro de Prolavtex se trabaja en una relación 1:10.

Productos dentro del pretratamiento:

- **Secuestrante – Kelantex:** Mantienen en solución los metales pesados, los mismos que provocan interferencias durante los procesos en húmedo de la fibra. Cumple con la función de secuestrar los iones alcalinotérreos y metálicos que pudiesen formar compuestos con los colorantes reactivos, provocando fallas o complicaciones

durante el proceso de tintura textil. La dosificación de este producto viene dada por la siguiente fórmula:

$$Sec = (0.5) \text{ g/l} * Ltm \quad (2.3)$$

Los 0.5 representa los gramos/litro especificado por la ficha técnica del producto.

- **Detergente industrial:** La dosificación de este producto viene dada por la siguiente fórmula:

$$Det = (0.5) \text{ g/l} * Ltm \quad (2.4)$$

- **Humectante Euroweting:** Incrementa el poder de mojado de las prendas, con la permite la penetración de productos textiles por el agua o por las disoluciones acuosas del proceso. Permite la expansión de la fibra con el fin de que la fibra este apta para recibir al colorante, su dosificación está expresada por la siguiente fórmula:

$$Hum = (1) \text{ g/l} * Ltm \quad (2.5)$$

El pretratamiento de la fibra textil se debe realizar de una manera adecuada y minuciosa para poder garantizar un buen teñido reactivo posterior que viene definido por: teñido bien igualado, sin manchas, evitando precipitaciones de colorantes, etc., para conseguir esto se debe controlar los parámetros de la Tabla 4 al terminar el pretratamiento y antes de iniciar el teñido reactivo.

Tabla 4*Parámetros de verificación*

Parámetros
<p>pH de la tela</p> <p>En un rango de 6.5 a 7.0, esto se mide haciendo un pH de extracción de la fibra textil o de manera práctica y simplificada midiendo el pH del baño residual, ya sea con papel indicador o un potenciómetro. Al mantenerse en un rango alcalino podría generarse una reacción prematura del colorante, lo cual no es deseado en esta etapa y si presenta un rango ácido impide una acertada reproducibilidad del color.</p>
<p>Grado de blanco del sustrato</p> <p>De manera ideal debe ser igual al grado del blanco que se obtiene en un laboratorio con el cual se ha corrido la receta, esto permite la reproducibilidad del color en la planta aproximadamente un 98%.</p>
<p>Residual de peróxido</p> <p>Al realizarse un pretratamiento oxidativo con peróxido de hidrógeno es necesario realizar su eliminación mediante un agente reductor como el bisulfito de sodio o la catalasa para disminuir el residual de peróxido; cero es el valor que debe contener el baño antes de empezar el proceso tinte, en caso contrario el peróxido residual va a reaccionar con el colorante, eliminando al cromóforo lo que conlleva a perder sus propiedades (esta medición se hace con un papel indicador).</p>
<p>Hidrofilidad de la tela, hilo y prenda</p> <p>Este parámetro garantiza la eliminación aceites, grasas y ceras naturales que están presentes en el algodón y otras fibras textiles hayan sido removidas de una manera correcta y adecuada, con el fin de evitar una tinte defectuosa. El método de validación este parámetro consiste en dosificar una gota de agua sobre la fibra textil pretratado seco, de manera ideal la gota debe ser absorbida en un $t < 2\text{seg}$ y la estela debe crear una circunferencia, en caso de que no se cumpla estas condiciones el pretratamiento debe ser modificado antes de iniciar el tinte reactivo.</p>

Parámetros

Capilaridad

La validación se lo realiza sumergiendo de una manera vertical un extremo de la fibra textil pretratado en una solución de colorante (Fibra textil de 15 cm x 2 cm). Un material procesado de manera correcta debe facilitar que el colorante suba mínimo 2 cm en un tiempo de 1 min.

Tintura de algodón

La dosificación de los colorantes es de suma importancia, puesto que la introducción de este en las máquinas de tintura se da por un solo punto, es decir, hay un punto en donde se une el colorante o la combinación de colorantes reactivos en solución y la fibra textil, esto se ejecuta dentro de la tobera. La dosificación facilita que el colorante llegue de manera uniforme a todo material.

Para este proceso la temperatura del líquido con prendas debe aumentar de 40 a 65 °C con una gradiente de 2 °C cada min por un tiempo estimado de 45 min manteniendo un pH de 7; en el proceso de tintura se trabaja en una $R:b$ igual a 1:6 y se utilizan los siguientes productos:

- **Secuestrante – Kelantex:** La dosificación de este producto viene dado por la ecuación (2.3) con condiciones de temperatura a 40 °C.
- **Igualante:** Aumenta la penetración y la distribución de manera uniforme del baño de teñido reactivo, esto permite una mejor igualación durante el proceso de tinción entre la parte exterior e interior de la fibra textil. La dosificación de este producto se expresa de la siguiente forma a una temperatura de 40 °C:

$$Igu = (2)g/l * Ltm \quad (2.6)$$

- **Protector de cierre:** Se usa cuando la prenda posee cierres con el fin de evitar que el metal de dicho elemento no se oxide, su dosificación viene dado por la siguiente fórmula a una temperatura de 40 °C:

$$Pdc = (1)g/l * Ltm \quad (2.7)$$

- **Colorantes:** Se trabaja con porcentaje y se puede considerar la unión de uno o varios colorantes que forman uno solo llamando bicromías, tricromías y cuatricromías dependiendo el tono:

$$Colorante = Ptp * \% \text{ unión} \quad (2.8)$$

% unión: Peso del colorante a utilizar con respecto al peso total de las fibras a teñir.

- **Sal textil del número 5 hasta la 12:**

Como electrolito se puede manejar el cloruro de sodio ($NaCl$) o a su vez el sulfato de sodio (Na_2SO_4); la función primordial que cumple el catión sodio (Na^+) es de neutralizar las cargas de la celulosa que dentro de un medio acuoso es negativa debido a la presencia de radicales (OH^-) que se encuentran dentro de su estructura química.

Cuando se neutraliza la carga de la fibra textil las difusiones del colorante reactivo en el baño hacia la parte interior del material estarán garantizadas. En la Tabla 5 se describe la dosificación basada en los tipos de colores.

Tabla 5

Dosificación de la sal textil

Color	Datos necesarios	Dosificación
Claros	<p>La poca cantidad de colorante presente en el baño se propaga de manera rápida y fácil hacia la superficie del material textil, motivo por el cual se corre el riesgo de una absorción irregular en toda la extensión del material textil. Para asegurar una homogénea absorción del colorante sobre el sustrato se debe adicionar el electrolito una vez culminado la dosificación del colorante, esto garantizará que los colorantes sean distribuidos de manera uniforme sobre la superficie textil y también absorbidas de manera uniforme desde la superficie exterior hacia la parte interna de la fibra.</p>	<p>La cantidad de electrolito se recomienda de 20 g/l de $(NaCl)$., cloruro de sodio</p> <p>En caso del sulfato de sodio (Na_2SO_4) la dosificación recomendada a utilizar es menor que la primera, puesto que un mol de (Na_2SO_4) posee el doble de iones de sodio (Na^+), esto se traduce que para el mismo peso de $(NaCl)$ el (Na_2SO_4) duplica su actividad iónica.</p>
Medios y oscuros	<p>La puesta del electrolito se puede realizar antes de la dosificación del colorante reactivo o conjuntamente con este, debido a la alta concentración de colorante que permite una absorción más uniforme.</p> <p>El electrolito no necesita ser dosificado debido a su alta solubilidad y difusión en el baño, por lo general se realiza retirando el baño de la máquina (baño con colorantes y auxiliares) sobre este se disuelve la cantidad de electrolito requerido y se devuelve a la máquina, esto se hace con la finalidad de no aumentar la relación de baño $R: b$.</p>	<p>La cantidad de electrolito es de 100 g/l, cloruro de sodio $(NaCl)$.</p> <p>Se mantiene la misma consideración entre la sal y el sulfato respecto a su actividad iónica.</p>

- **Álcali, carbonato y soda:**

Estos productos afectan al pH del agua trabajada debiendo mantener la temperatura de baño en 65 °C. El álcali permite formar una reacción química entre la celulosa y la parte reactiva del colorante a través de un enlace covalente (que es una unión fuerte a nivel molecular). El (Na_2CO_3) carbonato de sodio o denominado soda, es un álcali débil que puede hacer variar el pH del medio tintóreo desde 7 hasta 10.5, en este pH se produce una reacción química entre la celulosa y el colorante reactivo. Lo primordial de esta etapa es la introducción del álcali se recomienda que sea dosificada, en un tiempo recomendado que por lo general es de 25 min:

- Tiempo de rotación es menor a 2 min podría considerarse una dosificación entre 15 a 20 min.
- Tiempo de rotación es mayor a 2 min se debe considerar en dosificar de manera más extendida.

Se puede realizar en 2 dosificaciones de 25 min, cada una en intervalos de un tiempo de igualación de 10 min, esto permite a la tintura una óptima igualación, para esto se necesita que la elevación del pH en el baño sea de manera progresiva. En los colores oscuros o formulaciones con colorantes del grupo vinilsulfon se requiere elevar el pH a 11 o 11.5, con la adición de carbonato de sodio no es suficiente por esto se agrega sosa caustica ($NaOH$) o potasa caustica (KOH) que son álcalis fuertes. Fórmula sugerida:

$$At = (5) \frac{g}{l} Na_2CO_3 \text{ (carbonato de sodio)} + \quad (2.9)$$

$$(2) \frac{g}{l} NaOH \text{ (sosa caústica)}.$$

En la Tabla 6 se indica los porcentajes de carbonato y sosa con respecto al tipo de color.

Tabla 6*Porcentajes por color*

Color	Carbonato g/l	Sosa g/l
Pasteles	4	0.5
Medios	4.5	1
Oscuros	5	1.5

Tiempo de agotamiento

Se considera al agotamiento como la parte final del proceso de tintura reactiva comprendida dentro de la etapa de reacción; una vez dosificado el álcali como antes se detalló, es recomendable dar un tiempo adicional para la igualación y reacción, esto depende principalmente de la cantidad de colorante reactivo adicionado a la tintura (intensidad del color). Estos tiempos están clasificados acorde al color, Tabla 7.

Tabla 7*Tiempo de agotamiento*

Color	Tiempo de agotamiento
Claro	20 min
Medio	30 min
Oscuro	50-60 min

El tiempo descrito ayuda al aprovechamiento óptimo del colorante con la maximización de la reacción entre la celulosa y el colorante reactivo. Se puede resaltar que en colores reactivos medios y oscuros es de manera normal encontrar coloración en el baño residual de tintura, incluso con los tiempos y recomendaciones mencionadas por el motivo que no todos los colorantes adicionados a la tintura reactiva reaccionan con la fibra celulósica, los colorantes reactivos poseen un rendimiento máximo que va desde 65% – 80% en su mayoría, por tal

motivo, lo que se observa en el baño son colorantes hidrolizados que ya no son posibles de reaccionar y que deberán ser eliminados mediante algún proceso.

Proceso antes del enjabonado

Una vez culminada la etapa de tintura reactiva se bota el baño, seguido de varios enjuagues a temperatura baja 25 °C (temperatura de los baños de enjuague y neutralizado no superiores a la temperatura de teñido). Después de estos procesos se pasa a neutralizar con un ácido orgánico que por lo general se usa el ácido acético (CH_3COOH), con el fin de bajar el pH hasta 6.5 – 7.0, siendo estas las condiciones esenciales antes de realizar el enjabonado.

Es cuanto a la concentración del electrolito estos deben estar en rangos menores a 1 g/l puesto que al tener concentraciones mayores la carga iónica presente por efecto del (Na^+) hace que los colorantes hidrolizados se mantengan atraídos por a la fibra textil y esto causa complicada al momento de su eliminación, por tal motivo, un material textil teñido con este defecto presenta baja solidez al lavado (se presenta en colores oscuros).

En el manejo de pH se requiere que este se encuentre neutro (pH = 7) o levemente ácido (pH = 6.5) ya que en rangos ácidos o alcalinos determinados los colorantes reactivos son sensibles al hidrólisis ya sea esta ácida o alcalina, por tal motivo, en el enjabonado que por lo general se realiza a temperaturas altas (hervor) se destruyen parcialmente los cromóforos, con la repercusiones de un cambio de tonalidad o colores caídos, por ese motivo es muy importante controlar los parámetros antes mencionados y descritos.

Enjabonado o eliminación del hidrolizado

La finalidad de este proceso es eliminar los colorantes reactivos que se encuentran remanentes en la fibra textil, que no pudieron reaccionar o fijarse con la celulosa, por los motivos de que en el transcurso del proceso sufrieron rupturas internas producto del hidrólisis.

Para conseguir la eliminación de estos colorantes reactivos no deseados que en muchos casos están presentes desde un 25% hasta un 35% de la cantidad inicial de colorantes (colores oscuros), causando una calidad baja de tintura, para ello se requiere elevar a ciertas temperaturas dependiendo el color Tabla 8.

Tabla 8

Temperaturas óptimas para eliminar los hidrolizados

Color	Temperatura
Claros	80 °C
Oscuros	Temperatura hervor

El enjabonado se realiza con un tiempo de 10 a 15 min, adicional en este proceso se lo acompaña con un agente jabonador que puede ser un secuestrante o un auxiliar químico a base de poliacrilatos, con el objetivo de facilitar la remoción del colorante que se encuentra hidrolizado dentro de las fibras del textil. En el caso que exista colores con alto contenido de hidrolizados se procede a realizar un doble jabonado (repetir la fórmula y la curva), como recomendación se debe hacer un enjuague adicional en frío después del enjabonado, con el fin de eliminar los rastros de espumas u otros residuos que podrían perjudicar la calidad del teñido final.

En el caso de Prolavtex se usa un compuesto previamente elaborado que posee características necesarias para este proceso el cual evita elevar la temperatura tan alta denominado Azugal Albi o detergente para reactivos, tiene propiedades ácidas y baja el pH con una R: b de 1:10.

$$Azl = (1) \text{ g/l} * Ltm \quad (2.10)$$

Suavizado en colorantes reactivos

Para el proceso final de la tintura si la tela amerita un tacto suave se añade un último proceso con suavizantes industriales con una dosificación dependiendo la suavidad que se requiera por un lapso de 15 min

$$Su = (2)g/l * Ltm \quad (2.11)$$

Proceso Directo

Los colorantes directos tienen como objetivo teñir algodón y otras fibras de celulosa sin necesidad de aplicar mordentado alguno, cuando son aplicados desde una solución conteniendo electrolitos tales como ($NaCl$) o (Na_2SO_4). Se puede considerar que los teñidos con estos colorantes son sencillos a comparación de otro puesto que se estos se ponen sobre la fibra textil previamente lavada y húmeda, en un baño con una temperatura de 40 °C y con un buen volumen de agua. Es necesario el uso de sal para aumentar la tonalidad del color y el fijado se realiza con fijadores industriales o ácido acético técnico.

Los colorantes directos son más económicos y tiene una gama completa de tonos, pero no son suficientemente brillantes. Aun cuando es adecuado decir que en conjunto los colorantes directos no exhiben los más altos estándares de solidez al lavado, también se puede mencionar que hay muchas aplicaciones para las cuales cada colorante individual tiene adecuadas propiedades de solidez. (A. Bes-Piá, 2009)

Entre las características principales de los colorantes podemos enunciar:

- Fácil aplicación.
- Bajos costos de producción.
- Colores intensos y con cualidades brillantes.
- Afinidad tintórea por la fibra textil.
- Rango de solidez amplio.
- Solidez baja a tratamientos húmedos. (C. Allègre, 2004)

Clasificación de los colorantes directos

La clasificación de los colorantes directos está basada en sus características tintóreas, Tabla 9. La clasificación SDC de los colorantes directos está representada esencialmente en la compatibilidad de los colorantes entre sí, bajo ciertas condiciones de teñido.

Tabla 9

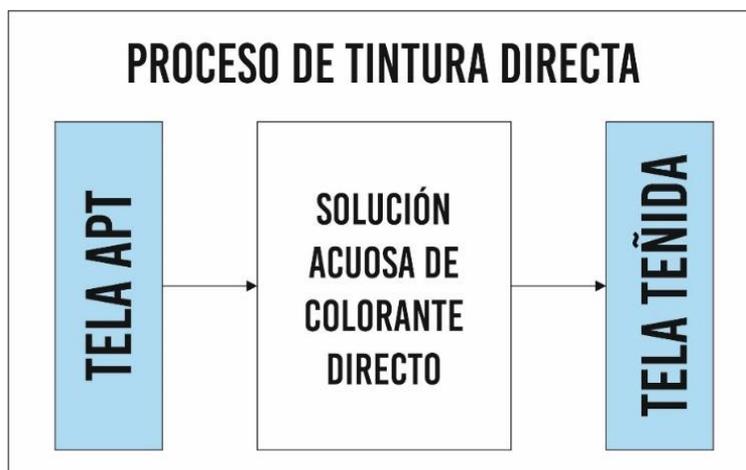
Colorantes directos

Tipo	Características
1. Autorregulables	<ul style="list-style-type: none"> • Con propiedades de migración siendo capaces de proporcionar un teñir uniformemente, aun cuando el electrolito sea agregado al inicio del teñido textil. • En ciertos casos se puede utilizar grandes cantidades de sal con el fin de agotar bien, porque tienen baja sustentividad. • Son colorantes de peso molecular muy bajo, con uno o dos grupos azoicos y varios grupos sulfónicos.
2. Controlables con la utilización de la sal	<ul style="list-style-type: none"> • Con propiedades de migración regulares siendo sensibles a la presencia del electrolito en el baño de tintura textil. • Se puede teñir uniformemente con el uso controlado de electrolito, regularmente después de que el baño de tintura ha llegado a la temperatura de agotamiento necesario.
3. Controlables con la utilización de la sal y por medio de la temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades de migración mala y su sustentividad crece de manera rápida respecto al aumento de la temperatura. • Algunos de estos colorantes requieren mínima cantidad sal para lograr un buen agotamiento.

El proceso que realiza Prolavtex para sus tinturas directas se basa en el siguiente esquema como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Proceso de tintura directa



Para realizar la tintura con colorantes directos se procede con el primer paso que consiste en el pretratamiento de tela siendo el antes descrito en colorantes reactivos con sus respectivas ecuaciones (2.3) (2.4) (2.5), con el fin de obtener un textil en las mejores condiciones y apto para la tintura, para este caso se usa una relación de baño de 1:8.

Para este proceso se utiliza los siguientes productos y cada uno con sus respectivas dosificaciones:

- **Secuestrante – Kelantex:**

$$Sec = (1) \text{ g/l} * Ltm \quad (2.12)$$

- **Igualante:**

$$Igu = (3) \text{ g/l} * Ltm \quad (2.13)$$

- **Colorante:** dependiendo el color se considera la dosificación basada en la ecuación (2.8).

En el fijado del proceso de tintura directa se utilizan los siguientes productos en las cantidades expresadas acorde a las siguientes fórmulas:

a) Ácido Fórmico:

$$Af = (0.2)g/l * Ltm \quad (2.14)$$

b) Fijador:

$$Fi = (2.5)g/l * Ltm \quad (2.15)$$

Para el suavizado se utiliza un suavizante especial para colorantes directos, la dosificación depende del tacto final que el cliente requiera, pero se recomienda valores entre 2 a 4 g/l.

$$Su = (2.2)g/l * Ltm \quad (2.16)$$

Tratamientos posteriores a los colorantes directos

Después del teñido con colorantes directos se pueden aplicar algunos tratamientos para mejorar las propiedades de fijación, tales como:

- El uso de formaldehído que une eslabones ayuda al colorante a mantenerse en su posición.
- La reacción de algunos colorantes con el sulfato de cobre puede mejorar su solidez frente a la luz.
- Para mejorar la solidez de la prenda ante la luz se aplican mezclas como surfactantes catiónicos o sales de cobre.

Recomendaciones Generales

Cada empresa tiene una forma particular de llevar a cabo el proceso de tintura en fibras o prendas, en Prolavtex se aplican algunas recomendaciones como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Recomendaciones en la planta

Área	Recomendaciones
Maquinaria	Debe existir una calibración correcta de la máquina, recipiente en la que se vaya a trabajar, específicamente nivel de baño y termómetro.
Bodega	Los productos sean líquidos o sólidos, deben ser medidos de manera correcta. Los sólidos deben ser pesados en una balanza y los líquidos medidos en probetas o vasos graduados que se vean los volúmenes medidos. Los colorantes tanto reactivos como directos se deben pesar de acuerdo con el porcentaje de color requerido en base al peso de las fibras textiles secas.
Fibra	Respecto a las fibras, estas deben pesarse secas y limpias.
Proceso	Las adiciones de productos tanto colorantes como auxiliares se deben hacer con el tambor de la máquina en movimiento, o a su vez con el agua en movimiento, no se deben suministrar en los tiempos de reposo de estas.
Bodega	La disolución del colorante debe hacerse con un tiempo prudente no anticipado al proceso, ya que puede afectarlo.
Producción	La programación de la producción debe hacerse según los colores y la intensidad de estos, ya que esto evita tiempos muertos que pudieran presentarse debido al lavado de la máquina o recipiente de tintura.
Proceso	<p>El orden para adicionar debe ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El baño acorde con la relación del baño escogido. • Colorante reactivo o directo. • Fibra textil. • Adicionar cada uno de los auxiliares de acuerdo con las indicaciones que se presentan más adelante para cada proceso.
Fibra	Las fibras, hilados, telas ya sean secas o húmedas deben cubrirse cuando estén fuera de la máquina o recipiente para evitar posible contaminación y/o migración del color en los pliegues o arrugas de estas.

Área	Recomendaciones
Proceso	El secado de las fibras debe hacerse lo más rápidamente posible después de terminado el proceso, esto evita que se presenten posibles problemas de contaminación de las fibras.
Proceso	Una fuente de contaminación también se le considera en la disolución de colorantes que estén cerca del lugar donde se manejen las fibras textiles, hilados o tejidos, es recomendable evitar esto.
Bodega	Las características de los auxiliares utilizados en tintura son: sensibles ya sea a la luz, al calor, al aire, a la humedad del ambiente, por tal motivo se debe cuidar de que su almacenamiento sea adecuado, tomando en cuenta las recomendaciones técnicas de las casas productoras o de las fichas técnicas.

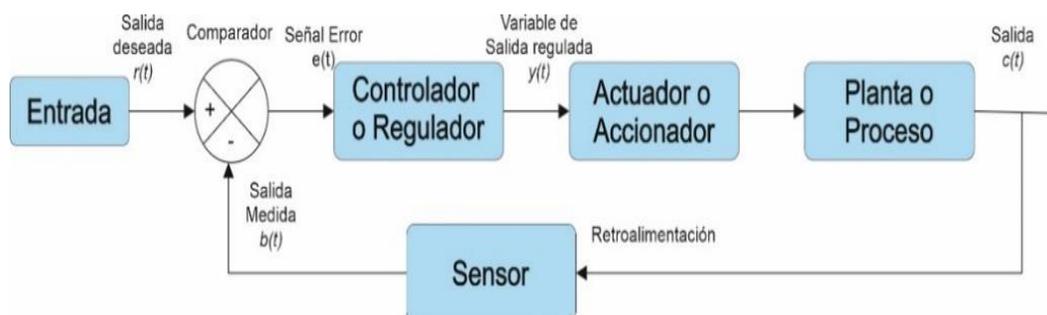
Automatización Industrial

Control de procesos industriales

Un sistema clásico para el control de procesos está integrado de varios elementos como: un controlador, un proceso el cual debe poseer por lo menos una variable para controlar a la que se denomina variable controlada, un dispositivo de control final el que permite manipular una variable del proceso con el objetivo de ajustar la variable controlada y debe existir un sensor por lo mínimo el cual produce una señal neumática o electrónica proporcional a la variable controlada, Figura 3 (Lab-Volt, 2004).

Figura 3

Elementos de un sistema clásico de Control



Nota. Tomado de Katsuhiko Ogata (1995)

Elementos de un Sistema de Control

Los dispositivos que conforman a un sistema de control son:

- Proceso a controlar. Es el proceso que se quiere controlar o regular dependiendo la aplicación.
- Variable controlada. Es la que se mantiene en una condición específica deseada, es la que se quiere controlar.
- Variable manipulada. Es la señal que es modificada con el fin de mantener la variable controlada en su valor. Esta varía continuamente con el fin de hacer que la variable controlada esté en el valor requerido.
- Señal de referencia. Es el valor deseado en la cual se debe mantener la variable controlada $r(t)$.
- Error $e(t)$. Es la diferencia entre la señal referenciada y la variable controlada.

$$e(t) = r(t) - b(t) \quad (2.17)$$

- Perturbación. Es un factor externo o no controlado que tiende a afectar adversamente el valor de la variable controlada.
- Elemento de medición. Es el encargado de determinar el valor de la variable controlada $b(t)$.
- Controlador. Es el encargado de compensar el error mediante una acción regulatoria sobre el actuador.
- Elemento final de control. Se encarga de realizar la acción de control modificando la variable manipulada.
- Entrada. Es el estímulo que se aplica a un sistema desde una fuente de energía externa, generalmente con el propósito de producir en el sistema una respuesta específica.

- Salida $c(t)$. Es la respuesta generada del sistema (Ogata, 2002).

Estrategias de Control

El objetivo del control es receptor señales medidas para realizar un conjunto de procedimientos, el cual entrega una salida con el objetivo de controlar el proceso adecuadamente. Las estrategias de control permiten definir la forma de la estructura o circuito que deben seguir las señales del lazo de control para entregar la señal que comandará a los actuadores. Para poder definir la estructura del control se debe tener un panorama total del proceso y de las diferentes variables que se pretende manipular como: nivel, flujo, temperatura, etc. (Fernando Morilla, 2007)

Control ON-OFF

La salida del controlador todo o nada, solo puede conmutar entre dos valores, es decir el valor de $y(t)$ a aplicar al actuador solamente puede tener dos valores que se seleccionan de acuerdo al signo del error actuante $e(t)$ definido en la ecuación (2.17). Los datos que se envía al actuador por el controlador ON-OFF se obtiene de la comparación de la entrada $e(t)$ con un valor umbral Vu (Pasaye, 2010):

$$y(t) = \begin{cases} Y_{on} & \text{si } e(t) > Vu \\ Y_{off} & \text{si } e(t) \leq Vu \end{cases} \quad (2.18)$$

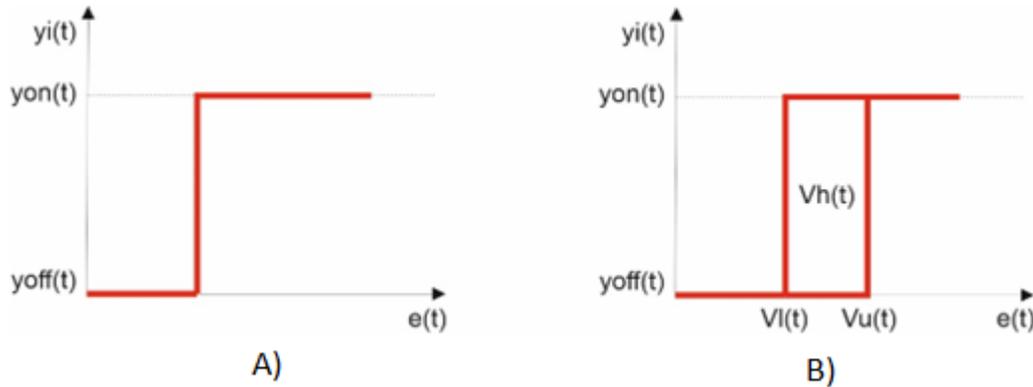
Control ON-OFF con Histéresis

La ecuación (2.18) muestra la forma más sencilla del controlador ON-OFF, sin embargo, en la práctica esta forma causa problemas de conmutación demasiado rápida que podrían generar problemas en algunos tipos de actuadores de respuesta lenta, por esta razón es recomendable agregar un efecto de histéresis. De esta manera, se entabla un nivel de comparación Vu con el fin de que la salida conmute cuando la entrada aumenta y se adiciona otro nivel para la comparación Vl con el objetivo de que la salida conmute cuando la entrada disminuya, Figura 4 (Ogata, 2002).

$$y(t) = \begin{cases} Y_{on} & \text{si } e(t) > V_u \\ y(t) & \text{si } V_l \leq e(t) \leq V_u \\ Y_{off} & \text{si } e(t) < V_l \end{cases} \quad (2.19)$$

Figura 4

Curvas de A) Conmutación simple y B) Conmutación con Histéresis



Nota. Tomado de Katsuhiko Ogata (1995)

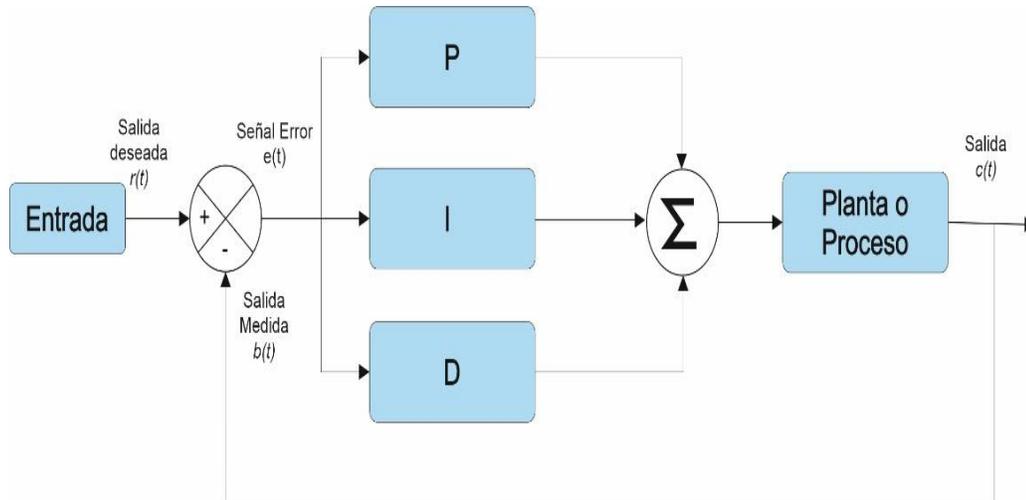
Control PID

El PID (control proporcional integral derivativo) es una estrategia de control por realimentación como se observa en la Figura 5, que se usa en sistemas de control industrial, este control trata de aprovechar las ventajas de los controladores básicos que lo conforman tales como:

- Cuando la señal del error cambia lentamente en función del tiempo la acción predominante es la proporcional e integral.
- Cuando el error varía rápidamente la acción derivativa es la que prevalece.
- La combinación de las acciones produce una respuesta rápida y también realiza la compensación de la señal con el objetivo de disminuir el error, para el caso en que exista perturbaciones o cambios del Set Point.

Figura 5

Estructura del Control PID



Nota. Planta electrónica para entrenamiento de sistemas de control utilizando la interface NI MyDAQ y el software LabVIEW 2010, Tomado de A. Rodríguez (1999)

La salida del control se describe por la siguiente ecuación (2.20) la cual se expresa en función del tiempo. (Fernando Morilla, 2007)

$$y(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} * \int_0^t e(t) * dt + K_p * T_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (2.20)$$

Donde:

- K_p : Ganancia Proporcional.
- T_i : Tiempo Integral.
- T_d : Tiempo Derivativo.

En la Tabla 11, se muestra cómo actúa el sistema según varía las constantes del controlador. (Fernando Morilla, 2007).

Tabla 11

Acciones de las constantes del Controlador PID

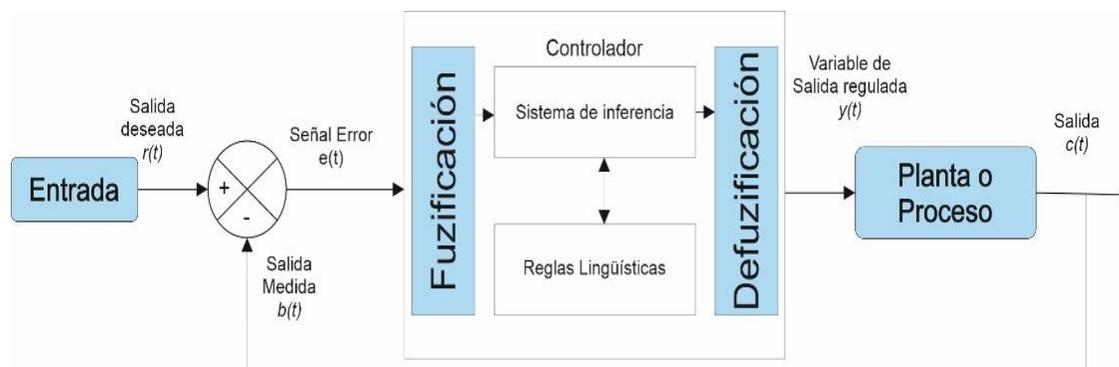
	Kp Aumenta	Ti Disminuye	Td Aumenta
Estabilidad	Reduce	Disminuye	Aumenta
Velocidad	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Error Estado estacionario	No elimina	Eliminado	No elimina
Área de error	Reduce	Disminuye consideraciones	Reduce

Control Difuso

Los controladores difusos tienen el mismo objetivo que un controlador clásico, hacer que el comportamiento de una planta sea como el operario requiera y no de forma aleatoria. En la lógica difusa cada dato contiene una cierta correspondencia a su respectivo conjunto difuso, esto permite a un controlador difuso una resolución más amplia en la acción en un sistema. En los sistemas de control debe tomarse en cuenta el conocimiento experto para la realización de la base de conocimientos sobre la cual se basará la toma de decisiones. La estructura utilizada en un controlador difuso se presenta en la Figura 6 (Pérez, 2011).

Figura 6

Esquema general de un controlador difuso.



Nota. Planta electrónica para entrenamiento de sistemas de control utilizando la interface NI MyDAQ y el software LabVIEW 2010, Tomado de A. Rodríguez (1999)

El controlador difuso entrega la mejor acción de control $y(t)$ esto depende de los valores de entrada $e(t)$, basándose en la base de conocimientos que trabaja junto con las reglas lingüísticas. Esta estrategia de control se puede trabajar en sistemas SISO (simple entrada simple salida) y MIMO (múltiples entradas múltiples salidas) sin la necesidad de utilizar matemática sofisticada, puesto que existe en la actualidad simuladores y métodos de prueba - error, adicional a esto el control difuso tiene la capacidad de realizar control a procesos no lineales, siendo esta principal ventaja desde el punto de vista industrial. (Pérez, 2011).

Este controlador realiza el proceso y las acciones del controlador tradicional para ello usa reglas difusas con la finalidad de dar características para tratar con sistemas de propiedades especiales como comportamientos no lineales, presenta las siguientes etapas:

- *Fusificación*: Convierte valores reales en valores difusos, en esta etapa se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada en función a los conjuntos difusos previamente realizados.
- *Base del conocimiento o reglas lingüísticas*: Almacena el conocimiento relacionado con el dominio del sistema y los objetivos del control, aquí se describen las reglas lingüísticas del control, que luego realizarán la toma de decisiones que decidirán la forma en la que el sistema debe actuar. (Sira Ramírez, Luviano Juárez, & Cortés Romero, 2008)
- *Mecanismo de inferencia*: Relaciona los conjuntos difusos de entrada con la salida para representar las reglas que definirán al proceso o sistema, para ello se utiliza la información de las reglas lingüísticas con el objetivo de generar nuevas reglas mediante el uso de condiciones.
- *Defusificación*: Se encarga de transformar los valores difusos en valores reales, para finalmente ser utilizados en el proceso de control. En la etapa de defusificación se

utiliza métodos matemáticos como: promedio ponderado, del medio máximo y centroide.

Una de las principales ventajas del controlador difuso es que genera una eficiente y efectiva metodología para desarrollar en forma práctica o experimental un controlador para sistemas no lineales sin la necesidad de usar matemática avanzada. El controlador no requiere del modelamiento del proceso a ser controlado. En la mayoría de las situaciones no lineales, el problema de control puede ser resuelto de manera más efectiva y eficiente comparado con los controles convencionales. (Sira Ramírez, Luviano Juárez, & Cortés Romero, 2008)

Sensores

Como se presentó previamente, la necesidad de automatización de los sistemas viene dado por la necesidad de un mayor control de las variables que entran en el proceso, con el objetivo de ser eficientes, eficaces y por ende la reducción costos y mejora del producto final. Por tal motivo se necesita de dispositivos que permitan obtener una lectura de variables físicas dentro del proceso, para el sistema que se presenta se necesita el manejo de tres variables a ser tomadas en cuenta:

- Temperatura
- Nivel de Fluido (medición indirecta)
- PH

Por lo tanto, se necesita de un sensor para la lectura de cada una de estas variables. Los datos entregados por estos, se los recopila por medio del uso de un controlador como se muestra en la Figura 3, dentro del cual por medio de un algoritmo se realiza el respectivo tratamiento de estos y se lo almacena para su uso y visualización.

Sensores de Temperatura. Con el avance de la tecnología ha surgido muchas formas de medir la temperatura con todo tipo de sensores con diferentes características. Con el paso

del tiempo la ingeniería ha inventado, desarrollado, perfeccionado e innovado a la hora de crear sensores que faciliten a controlar los cambios de temperatura en varios procesos.

Tabla 12

Dispositivos para medición de temperatura:

Eléctricos	Mecánicos	Radiación térmica	Varios
Termocuplas.	Sistemas de dilatación.	Pirómetros de radiación.	Sondas neumáticas. Sensores ultrasónicos. Indicadores pirométricos. Termómetros acústicos.
Termorresistencias.	Termómetros de vidrio con líquidos.	- Total (banda ancha).	Cristales líquidos.
Termistores.	Termómetros bimetálicos.	- Relación.	Sensores fluídicos. Indicadores de luminiscencia (Termografía)
Diodos.		- Óptico.	Indicadores de color.
Sensores de silicio con efecto resistivo.		- Pasabanda.	
		Termómetros infrarrojos.	- Lápices - Pinturas

En la Tabla 12 no están reflejados todos los tipos de sensores de temperatura existentes, pero sí podríamos centrarnos en hablar de unos cuantos verdaderamente extendidos en la industria, y en especial, de los que podríamos usar en circuitos electrónicos junto con microcontroladores y otros sistemas electrónicos digitales para conseguir los resultados necesitados. La Tabla 13 presenta los rangos de medición de los diferentes tipos de sensores de temperatura.

Tabla 13*Rangos de medición de temperatura*

Tipo	Rango
Termocuplas	-200 °C a 2800 °C
Sistemas de dilatación (capilares o bimetálicos)	-195 °C a 760 °C
Termorresistencias	-250 °C a 850 °C
Termistores	-195 °C a 450 °C
Pirómetros de radiación	-40 °C a 4000 °C

En la actualidad los sensores de tipo eléctrico tienen unas cualidades especiales que los convierten en más convenientes para un determinado proceso u objetivo.

Medición de Nivel de Líquidos. La medición del nivel, detección o monitoreo es importante en la industria, esencialmente en la industria química y de procesos de teñido de prendas de vestir. Es igualmente parte integrante en la medición de otros parámetros como es caso del caudal. La determinación del nivel permite evaluar la cantidad de un líquido en un reservorio o recipiente industrial de dimensiones conocidas con el fin de cumplir un proceso específico.

Para medir el nivel en un líquido se lo calcula mediante la distancia existente entre una línea referencial que podría ser el fondo del recipiente y la superficie que ha alcanzado el líquido en un cuerpo geométrico. Al momento de definir el nivel se debe considerar algunos factores como: tipo de medición deseada, viscosidad del fluido, presión, recipiente presurizado; estos traen como consecuencia la utilización de métodos varios y diferentes tipos de instrumentos medidores del nivel.

La selección del medidor de nivel seleccionado depende de la aplicación, necesidades o condiciones de operación. Los métodos utilizados para la medición del nivel se clasifican en: métodos de medición directa e indirecta, Tabla 14 (Ogata, 2002).

Tabla 14

Métodos de medición del nivel de agua

Indirectos	Directos	Características Eléctricas del Líquido
<ul style="list-style-type: none"> • Método de medidores actuados por desplazadores. • Método de medidores actuados por presión hidrostática. • Sistema básico o Manómetro. • Método de diafragma-caja. • Método de presión diferencial. • Método de duplicador de presión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Método de medición por sonda. • Método de medición por aforación. • Método de medición por indicador de cristal. • Método de medición flotador-boya. 	<ul style="list-style-type: none"> • Método Conductivo. • Método Capacitivo. • Método Ultrasónico.

Medición de pH. El pH cuantifica una solución definiéndola en ácida o básica (alcalina). Se concibió en el año 1909 y se describe como un índice logarítmico de la concentración de iones de hidrógeno en una solución acuosa. La escala de lectura es de manera inversa, de tal manera que los valores de pH decrecen cuando aumentan los niveles de iones hidrógeno. El agua pura tiene un pH de 7; los valores situados por debajo de este valor se consideran ácidos; los situados por encima, básicos. (C. Artero, 2012)

Los sensores de pH más usados que convierten la actividad química del ion hidrogeno en una señal eléctrica son los electroquímicos, los sensores de tipo óptico son menos usados. Los sensores electroquímicos tienen su principio en la ecuación de Nernst, utilizada para calcular el potencial de reducción de un electrodo fuera de condiciones estándar.

$$E = E_0 - RT nF \ln(Q) \quad (2.21)$$

Donde:

- E_0 es el potencial en condiciones estándar.
- R la constante de los gases.
- T la temperatura absoluta.
- nF los electrones intercambiados en la reacción.
- $\ln(Q)$ es el logaritmo neperiano del cociente de reacción.

En resumen, mide la diferencia de potencial entre un electrodo referencial (pH conocido) y un electrodo de medición. Dependiendo de la construcción de estos electrodos se tienen diferentes tipos de medidores (Endress+Hauser, 2019). La Tabla 15 describe los diferentes tipos de sensores para pH de acuerdo con su composición.

Tabla 15

Tipo de sensores para pH.

Sensor	Descripción
Sensores de vidrio	En un electrodo de pH estándar de vidrio su elemento sensor es una capa de gel de espesor submicrométrico dispuesta sobre una ampolla de vidrio. Esta capa puede incorporar iones H ⁺ lo que implica un cambio en el potencial electrostático en la ampolla de vidrio. Esta variación de potencial es medida con respecto a un elemento referencial que está en contacto con el producto por medio del diafragma con el que se crea un lazo eléctrico cerrado.

Sensor	Descripción
Sensores ISFET	Un sensor ISFET tiene como elemento principal un chip semiconductor tipo transistor de efecto de campo de selectividad iónica. Estos sensores tienen varias ventajas respecto a los de vidrio porque no se rompen por el material con el que están hechos y también puede soportar mayores concentraciones de solventes orgánicos, una desventaja es que no soporta ácidos calientes.
Sensores con esmalte	Estos sensores presentan ciclos de calibración especialmente largos y por tanto requieren menos mantenimiento. Su rango lineal es de pH 0 - 10, tiene un diseño sanitario, admite CIP y SIP, y no requiere un portasondas retirable.
Tecnología Memosens	La transmisión de señales es posible sin que haya ningún contacto metálico entre la cabeza de sensor y la conexión de cable asegura un funcionamiento sin interferencias incluso en entornos húmedos. Al ser la cabeza del sensor un sistema desacoplado galvánicamente y una memoria para guardar datos de calibración, es posible calibrar el sensor por separado en lugar de tener que calibrar todo el lazo de medición.

Maquinaria Industrial:

Estas máquinas se encuentran en cualquier tipo de industria, las cuales son capaces de hacer, maquilar o producir grandes cantidades de un producto comercializado, es decir producción por lotes y que emplea un tiempo estimado menor al realizar manualmente. (Erazo, 2012)

Definición de lavadora industrial

Es una máquina que tiene como objetivo lavar prendas confeccionadas, ahorrando esfuerzo, tiempo y agua. Esto se logra realizando el proceso de mezclar agua con productos químicos, en dicha mezcla se colocan las prendas moviéndolas a una velocidad determinada dentro de una cavidad. Actualmente, las lavadoras poseen nuevos mecanismos y por esta razón los procesos se pueden ejecutar en una forma más automatizada y sencilla.

Evolución de las máquinas lavadoras

La evolución funcional de la lavadora ha sido muy importante en estos años gracias a la aplicación de la microelectrónica. Entre los aspectos estéticos y tecnológicos algunos modelos actuales terminan el proceso al dejar la ropa seca y limpia, incluso añaden controladores de tiempo, sensores que controlan la velocidad y la temperatura; a más de ello aplican procedimientos de recolocación de ropa con el fin de evitar excesivas vibraciones durante el centrifugado, etc. Entre las generaciones de las máquinas de limpieza en seco se encuentran:

- *Primera generación:* son las más antiguas y costosas que requieren cambio manual de las prendas húmedas de solvente entre una lavadora y una secadora separadas. Fueron utilizadas exclusivamente hasta fines de los años sesenta.
- *Segunda generación:* (ventiladas). En estas máquinas no existe ventilación, las prendas de vestir entran y salen secas de la máquina, cuyos vapores residuales de disolvente son expulsados directamente a la atmósfera.
- *Tercera generación:* (no ventiladas). Son máquinas que integran condensadores refrigerados, pero carecen de ventilación. Tiene un sistema de ventilación para recirculan el aire caliente de secado. Las máquinas de esta generación proporcionan ahorros considerables en los disolventes y reduce las emisiones de percloroetileno.
- *Cuarta generación:* (no ventiladas incluido control secundario del vapor). En esta generación se logra una reducción sobre la concentración del percloroetileno a la salida del filtro mediante un condensador de carbono refrigerado.
- *Quinta generación:* (no ventiladas incluido control secundario del vapor y monitor del tambor). Estas máquinas integran las mismas características que las máquinas anteriormente descritas (Cuarta generación) con un mayor costo, son utilizadas ampliamente en Alemania.

Principio de funcionamiento de una lavadora industrial

Su funcionamiento se basa en la dinámica del giro que se genera en un tambor central que posee una serie de orificios típicamente cilíndricos, donde se mezcla el agua y químicos. Esta rotación origina la mezcla de estos dos elementos y su movimiento relativo produce un proceso determinado. El movimiento es producido por un motor que se encuentra acoplado a unas poleas o catalinas y estas mediante bandas o cadenas transmiten el movimiento al eje del tambor para empezar el proceso. En las lavadoras automáticas se puede programar para que la lavadora realice distintos procesos de lavado según se seleccione de un listado, distintas velocidades de giro, en estos ciclos establecidos la lavadora se mantiene girando y a temperatura deseada. (ERAZO, A. 2012)

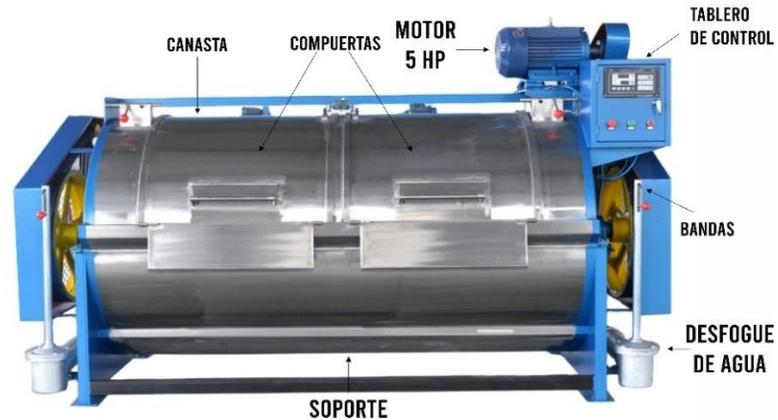
Tipos de lavadoras industriales

A lo largo de la revolución industrial y específicamente en el ámbito de lavadoras de procesos industriales existen dos formas y/o tipos de lavadoras las cuales se detallan a continuación:

Lavadora horizontal. Este tipo de lavadora requiere ingresar las prendas por la parte superior como se observa en la Figura 7. Debido a su diseño, estas máquinas son recomendables para pequeñas capacidades, puesto que en grandes capacidades la lavadora se vuelve difícil de operar y sus dimensiones se vuelven desproporcionales. En estas lavadoras la carga y descarga de las prendas se dificulta en capacidades mayores a los 100 Kg, ya que por sus dimensiones el operador debe utilizar una plataforma para llegar a la puerta de ingreso de las prendas.

Figura 7

Lavadora horizontal



Lavadora Vertical. En estas lavadoras la carga de prendas de vestir se la realiza por la parte frontal como se observa en la Figura 8. Pueden ser diseñadas tanto para capacidades pequeñas como para grandes por la facilidad que tienen de cargar prendas y el alto rendimiento que pueden tener. La carga y descarga de las prendas es accesible para realizarlo manualmente en capacidades pequeñas y en grandes capacidades con la ayuda de maquinaria industrial. Además, pueden calentar el agua utilizando un elemento calefactor como vapor o de varias otras formas.

Figura 8

Lavadora Vertical



Productividad

Representa la capacidad de producción de una empresa, basado en la relación entre productos en insumos es decir cuántos recursos (electricidad, diésel, agua, químicos, mano de obra) fueron necesarios para obtener un producto de buena calidad; también se podría decir que representa los resultados obtenidos en función del tiempo empleado. La automatización de los procesos garantiza que el flujo de trabajo se cumpla dentro de la empresa, esto conlleva un gran aporte al aumento de la productividad La productividad se encuentra directamente relacionada con la eficacia y la eficiencia.

Eficacia

La eficacia describe la capacidad de una empresa para conseguir las metas u objetivos planificados en su producción sin considerar los recursos necesarios prevaleciendo su nivel de consecución.

Eficiencia

La eficiencia se determina mediante la relación entre los recursos invertidos en la línea de producción de una empresa respecto a los objetivos conseguidos con los mismos, con un valor de representación óptimo al ejecutar más objetivos de lo planificado.

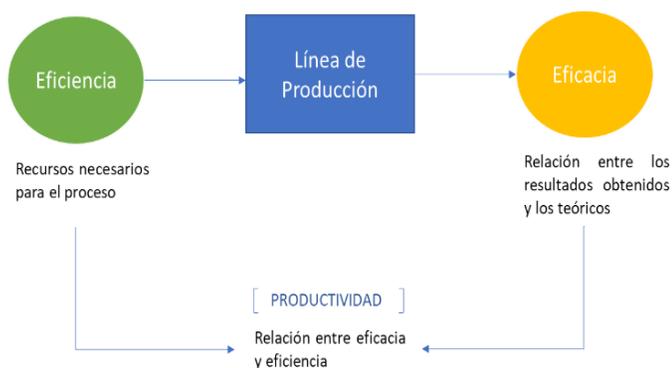
Relación entre Productividad, Eficacia y Eficiencia

La eficacia determina la cantidad de recursos necesarios para conseguir los objetivos establecidos en la planificación de una empresa mientras que si consideramos el ahorro en algunos de los recursos se puede decir que es más eficiente el proceso. La Figura 9 describe la relación entre estos indicadores respecto a una línea de producción. La ecuación que define la productividad se expresa de la siguiente forma:

$$Productividad (\%) = Eficiencia * Eficacia * 100 \quad (2.22)$$

Figura 9

Relación entre productividad, eficacia y eficiencia



Capítulo III

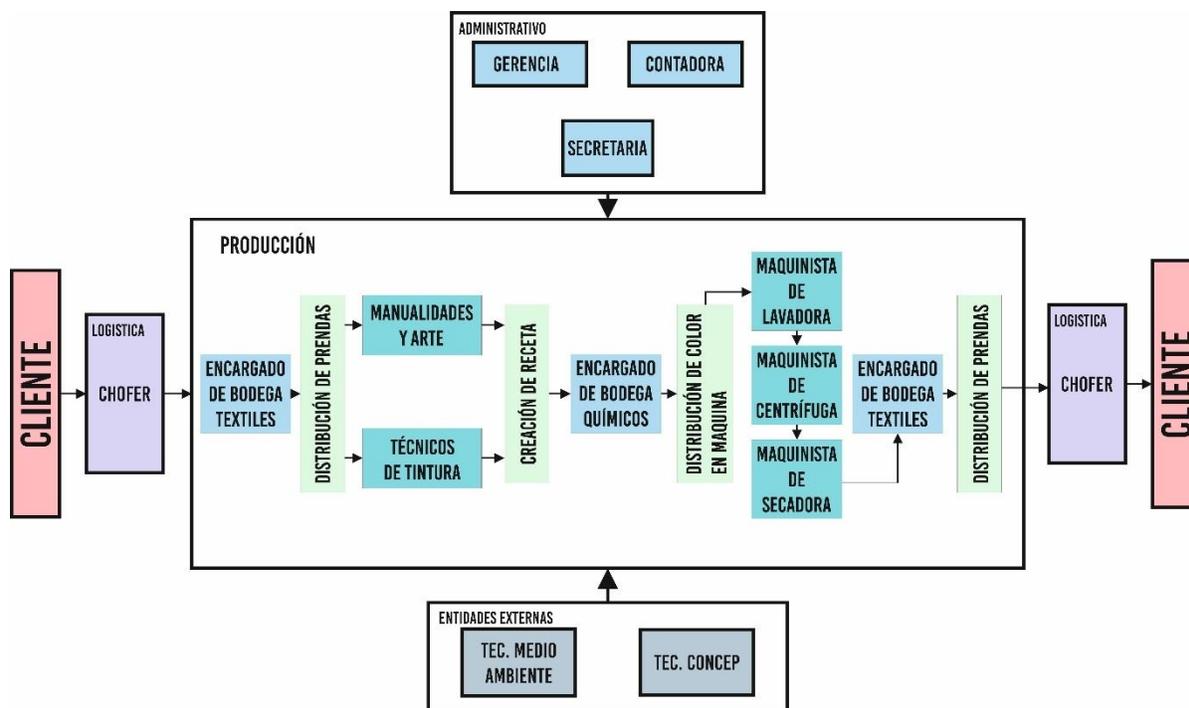
Método de Investigación

Descripción de la empresa Prolavtex

Organigrama.

PROLAVTEX cuenta con más de seis años en el mercado nacional brindando servicio de tinturado de prendas de vestir en telas algodón y poli algodón a clientes dentro de la zona de la provincia de Tungurahua con un 70 % en Ambato, 20 % en Pelileo y un 10 % en Cevallos, el tipo de proceso para teñir dentro de la empresa son Reactivos y Directos explicados en el apartado anterior. La forma de trabajo dentro de las instalaciones consiste en, llegada la mercadería a las bodegas de la empresa, una persona encargada divide las prendas por color, para luego generar una orden de producción la cual es receptada por los técnicos de tintura y esos a su vez proceden a generar la receta necesaria para producir el lote. Posterior a esto la receta llega al área de bodega de químicos para pesar los productos descritos en dicho documento, estos ítems son enviados por medio de cubetas y su respectiva orden de proceso (contiene las curvas) a los maquinistas que se encuentran en las máquinas lavadoras para comenzar con el proceso descrito, luego de esto se realiza el centrifugado y el secado de las prendas ya procesadas, para luego regresar a las bodegas con el objetivo de dividir las prendas por clientes y generar ordenes de entrega para los clientes. A continuación, en la Figura 10 se presenta el macroproceso de la empresa:

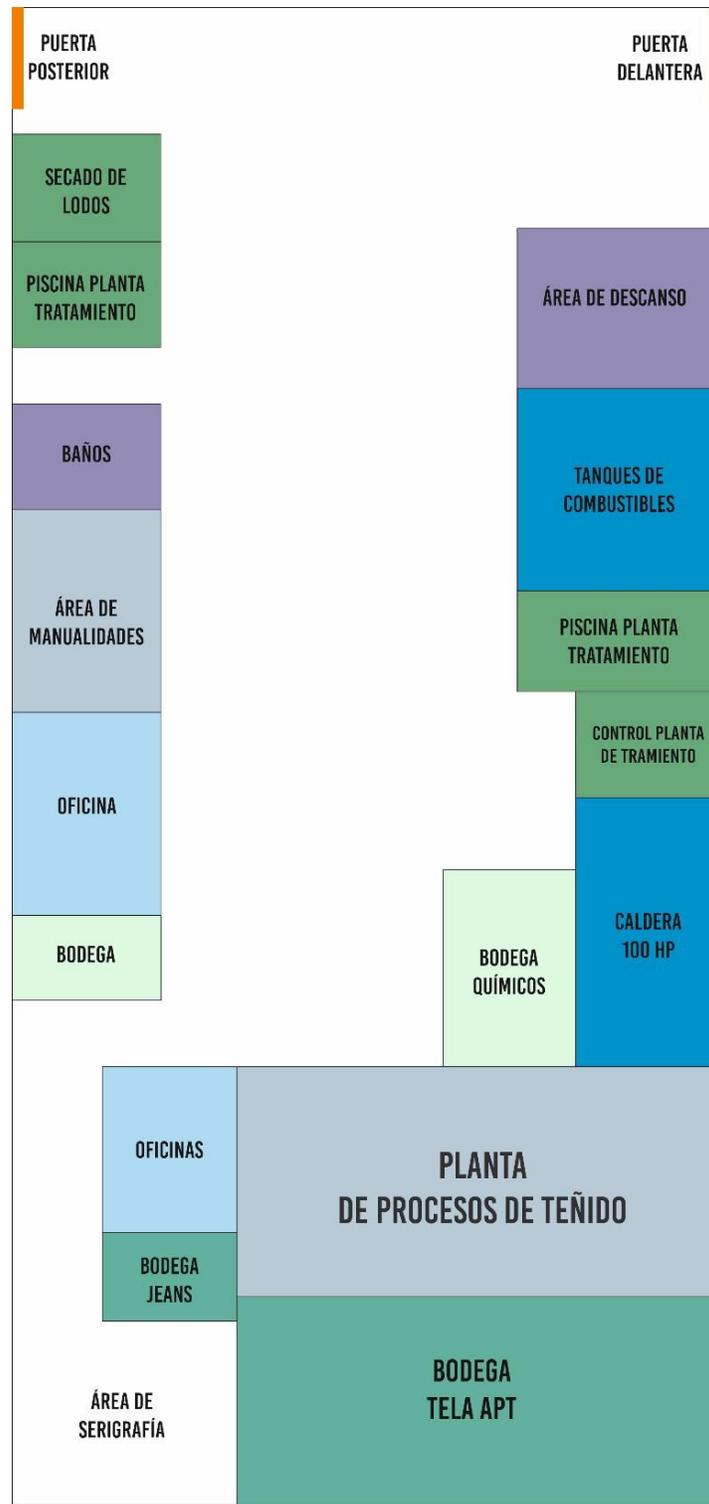
Figura 10
Organigrama



Descripción de la planta

La planta Prolavtex está distribuida en las áreas como se indica en la Figura 11, las cuales están designadas por los siguientes colores:

- **Naranja:** Puertas de acceso a la planta
- **Verde:** Planta de tratamiento de Agua
- **Violeta:** Área de descanso
- **Azul:** Caldero
- **Verde Claro:** Bodega de Químicos
- **Plomo:** Áreas de Producción
- **Turquesa:** Bodegas de textiles
- **Blanca:** Área de serigrafía

Figura 11*Distribución de la planta*

Caldero. La caldera que se utiliza dentro de PROLAVTEX tiene como objetivo generar energía térmica mediante la transformación de la energía contenida en el combustible diésel por medio de la combustión, esto afecta a un fluido (generalmente agua) con el fin de producir vapor, el cual se usa como una sustancia de trabajo en las máquinas lavadoras y secadoras permitiendo cambiar la temperatura interna de estas máquinas según requiera el proceso. La caldera que se usa es pirotubular modelo CB de Cleaver Brooks como se presenta en la Figura 12, entre las principales características tenemos:

- 100 hp de potencia.
- Se usa con gas natural, aceite #2 y #6, combinación.
- Genera de 15 - 250 psig en vapor, 30 - 125 psig en agua caliente.
- Quemador frontal.
- El diseño dryback de CB incluye 5 pies cuadrados de superficie de calefacción por caballo de fuerza de la caldera con la máxima eficiencia.

Figura 12

Caldero



La fuente principal de alimentación para el funcionamiento del caldero es diésel, que está en contenedores, con características y especificaciones que recomienda la entidad pertinente de regulación, como se visualiza en el plano de la Figura 13. Adicionalmente consta con la debida señalética y con su cubeta en caso de derrames, como se observa en la Figura 14 y 15 respectivamente.

Figura 13

Contenedor de diésel para uso del caldero

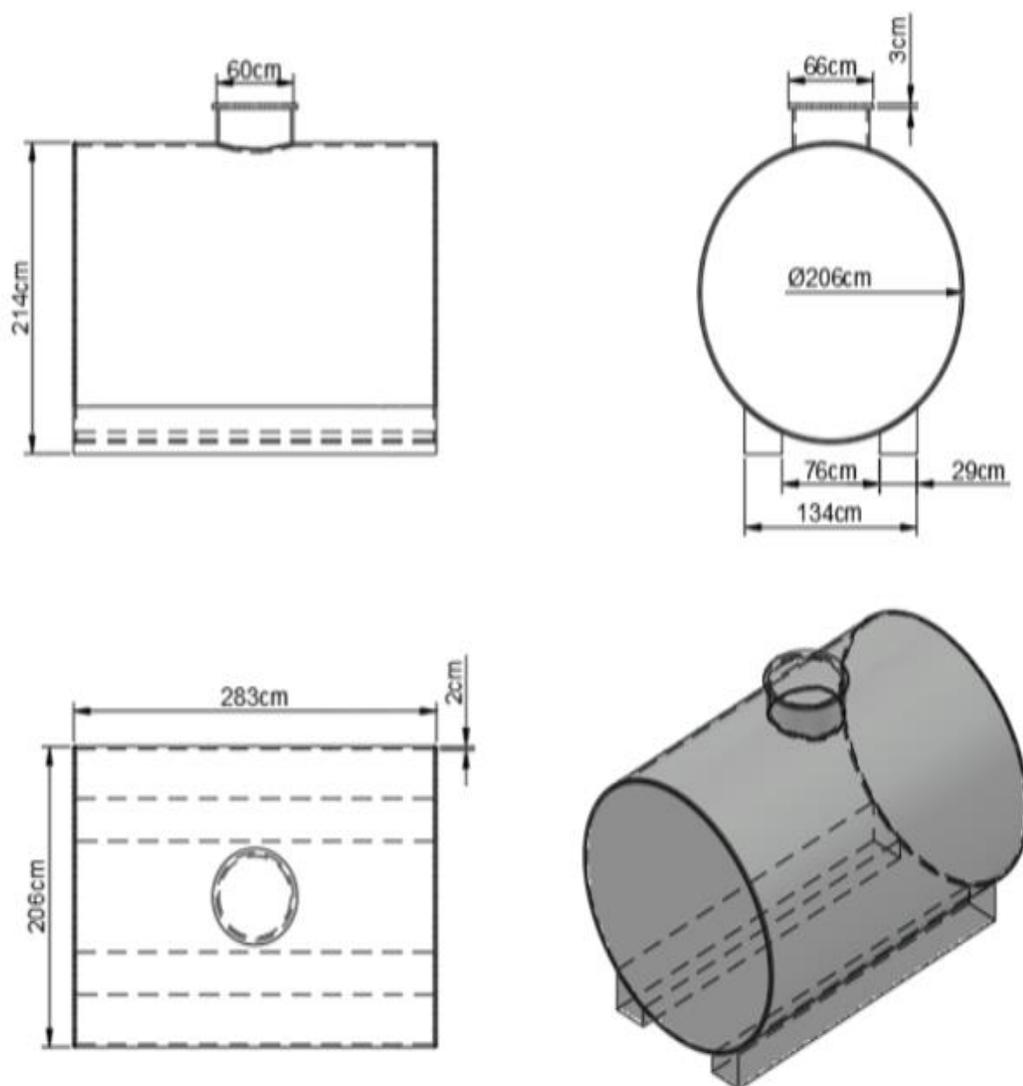


Figura 14

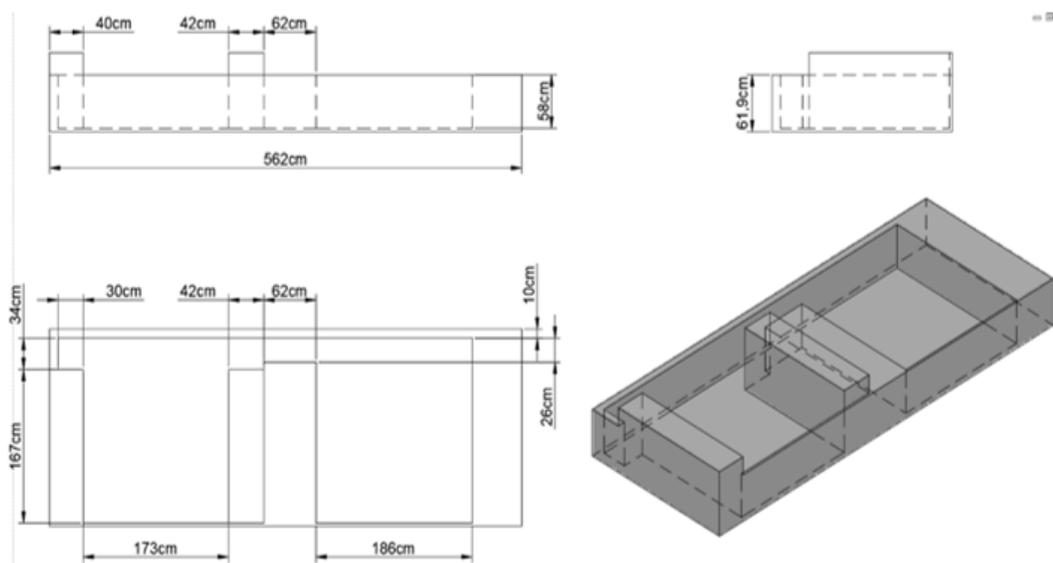
Contenedor de diésel y señalética para uso del caldero



De acuerdo con la Figura 15, se observa el plano de la cubeta con sus respectivas medidas que permitirá contener el combustible diésel almacenado en los depósitos fijados sobre el mismo, en caso de cualquier suceso inesperado que pueda surgir en el desarrollo de las actividades diarias dentro de la planta.

Figura 15

Cubeta contenedora en caso de derrames de diésel



Planta de Tratamiento de Agua. Procesos y lavados PROLAVTEX cuenta con una licencia ambiental otorgada por el MAE producto de un proceso arduo que ha venido realizando la empresa, comprometida al cuidado del medio ambiente dando prioridad del recurso hídrico por medio del proceso de tratamiento de aguas residuales. Es importante reiterar que el principal recurso para el funcionamiento de la empresa es el agua y que es indispensable cuidar este elemento, por tal motivo PROLAVTEX se compromete a preservarlo a través del tratamiento y cumplir las normas vigentes nacionales estipuladas por el MAE. La planta de tratamiento de agua es un proceso y operaciones unitarias de tipo químico, físico o biológico con el objetivo de que a través de los equipamientos elimina o reduce la contaminación o las características no deseables de las aguas, en este caso de sólidos, colorantes y auxiliares que se ingresa en el fluido al momento de realizar el proceso.

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es posibilitar su posterior reutilización (vertido cero), o bien su retorno al medio natural sin causar ningún impacto ambiental, Figura 16.

Figura 16

Etapas del tratamiento de agua



Los elementos y dispositivos que intervienen en cada etapa del tratamiento de agua se describen a continuación en la Tabla 16.

Tabla 16

Elementos presentes en la planta de tratamiento de agua

ELEMENTO	FOTOGRAFÍA
----------	------------

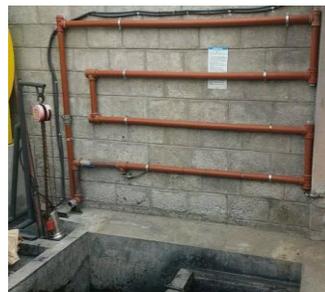
Bomba sumergible Nocchi Pentair

El impulsor va fijado al final del eje giratorio, consiste en una placa y posteriormente una hélice. El líquido ingresa al sistema por medio de succión y a continuación el agua sube por acción centrífuga desde el centro hacia afuera, adquiriendo energía en forma de presión y velocidad cuando sale de la parte baja y se disipa hacia la salida. La bomba comenzará a operar por el flujo normal del afluente a través de la reja fina, en función de los niveles de operación en el mismo. Se verificará la correcta ubicación y niveles de operación de los interruptores correspondientes.



Sistema de mezcla de floculante-coagulante

Compuesto por un sistema de tuberías PVC de 6" de diámetro y 4mm de espesor, tiene como finalidad inyectar el químico (floculante-coagulante y policloruro de aluminio) utilizado para el tratamiento del afluente y mediante la bomba sumergible, con el propósito de decantar los sólidos sedimentados respectivamente.



Sistema de mezcla

Compuesto de dos bombas dosificadoras y dos tanques que deben ser llenados diariamente con 180 litros, que son la capacidad nominal. Al tanque se debe adicionar 25 Kg de policloruro de aluminio para su funcionamiento.

Los tanques de floculante y coagulante deben ser lavados mensualmente, así como las mangueras de los sistemas de bombeo y dosificación. Se tendrán los tanques de coagulante y floculante llenos y con las condiciones indicadas. Las bombas de dosificación deberán estar en la salida de caudal adecuado. Las llaves superiores deberán estar abiertas y las llaves inferiores totalmente cerradas.



Elemento	Fotografía
----------	------------

Tanques de homogenización de afluentes

Estos tanques están ubicados en la planta principal de la fábrica, el propósito de estos es la homogenización de los afluentes, ya que existen varias etapas en el proceso de lavado del jean, los cuales evacuan varios tipos de contaminantes. En la primera parte de este tanque existe una criba, la cual retiene los sólidos filamentosos. Esta criba debe ser limpiada diariamente.

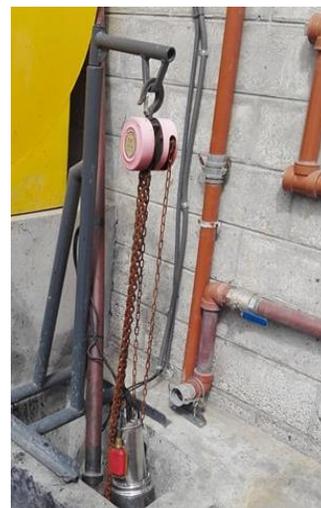


Estructura metálica de soporte de la bomba sumergible

Tiene como fin maniobrar la bomba ubicada en el pozo de bombeo, donde ingresa el afluente a partir de un sistema polea-cadena para su posterior mantenimiento u otro aspecto que sea necesario de realizar.

El pozo de bombeo cumple con las siguientes funciones:

- Remoción de sólidos especialmente gruesos y flotantes por medio de la reja mecanizada de limpieza instalada en el canal de acceso a la cisterna.
- Bombeo del líquido residual hacia la planta de tratamiento.
- El pozo de bombeo es del tipo húmedo, con su correspondiente cámara de válvulas exterior y provisto de una bomba sumergible de velocidad variable.



Tablero de control

Permite encender el sistema de dosificado el cual está compuesto por un mando selector de *APAGADO* y *ENCENDIDO*.

También cuenta con tres luces piloto, dos verdes que indican cuando la bomba sumergibles y dosificadoras están encendidas y de una luz piloto roja indicando cuando la bomba sumergible esta sobrecargada.



Elemento	Fotografía
----------	------------

Alcantarillado

En esta sección será evacuada el agua tratada hacia la red de alcantarillado de la ciudad de Ambato y así contribuyendo con el cuidado del agua y medio ambiente.



Tanque de mezcla

Una vez bombeado del tanque de homogenización y circulado por el sistema de mezcla de floculante-coagulante el efluente es depositado hacia el tanque de mezcla el cual tiene como propósito oxigenar el efluente mediante el abatimiento (golpeteo) que se produce debido a las paredes existentes y así pasar por el tanque de sedimentación secundario.



Tanque de sedimentación secundario

Tiene como finalidad la separación sólido-fluido en la que las partículas sólidas de una suspensión más densas que el fluido se separan de este por la acción de la gravedad. El cual una vez sedimentado evacua el efluente tratado hacia la parte superior del tanque y la inferior hacia los tanques de lodos.

El tanque tiene una capacidad de contención del efluente de 29888.93 l, es decir, 7895.82 gal.



Tanques de lodos

Es el resultado de la etapa final del proceso de sedimentación secundario del efluente y es donde los lodos serán depositados una vez terminado.

De igual manera el lodo acumulado en esta sección será evacuado en contenedores señalizados como establece el MAE sobre el registro de desechos peligrosos como rige la normativa.



Planta de Producción. Dentro de la Planta de producción se divide en tres secciones, las cuales se describen en la Tabla 17.

Tabla 17

Máquinas por sección y características

Sección	Máquinas	Observaciones
Lavandería	2 verticales	<ul style="list-style-type: none"> • Motores de 7 hp con moto reductor • Variadores de Frecuencia • Capacidad de 60 Kg, 120 prendas • Entrada de vapor • Entrada de agua • Cronómetros incorporados • Desfogues de agua
Lavandería	5 horizontales	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina 1 motor de 7 hp acoplado con poleas, capacidad 200 Kg, 400 pantalones • Máquina 2 motor de 2 hp capacidad 12 Kg, 24 pantalones • Máquina 3 motor de 3 hp capacidad 25 Kg, 50 pantalones • Máquina 4 motor de 3 hp capacidad 16 Kg, 32 pantalones • Máquina 5 motor de 1 hp capacidad 2 Kg, 4 pantalones • Variador de frecuencia y manejo con contactores • Entrada de vapor • Entrada de agua • Desfogues de agua
Centrifugado	1 centrífuga	<ul style="list-style-type: none"> • Motor de 5 hp acoplado con poleas • Variador de frecuencia • Capacidad de 60 Kg, 120 prendas • Cronómetro • Desfogues de agua
Secado	4 secadoras	<ul style="list-style-type: none"> • Motor 5 hp • Capacidad de 60 Kg, 120 prendas • Capacidad de 40 Kg, 80 prendas • Cronómetro • Lógica cableada • Arranque directo con el uso de contactores • Sensores pt100 • Visor de temperatura • Entrada de vapor

A continuación, se indica las áreas de producción de PROLAVTEX en la Figura 17 y Figura 18.

Figura 17

Área de Lavandería



Figura 18

Área de Secado



Bodegas de producto textil: Las bodegas de producto textil dentro de la empresa están distribuidas de tal forma en que no exista contaminación entre diferentes tipos de tejidos, diferenciando dos grupos: el área del Jeans y el área de APT (Aptas para teñir), puesto que las composiciones son diferentes, siendo las primeras de color azul y las últimas de punto blanco, Figura 19 y Figura 20 respectivamente:

Figura 19

Bodega de tela Jeans



Figura 20

Bodega de tela APT



Bodega de químicos. Se distribuye en dos bodegas, la primera se encuentran los colorantes y auxiliares de tintura con sus respectivos contenedores y etiquetas de seguridad, adicional se encuentra esta bodega equipada con balanzas; mientras que en la segunda se tiene los productos controlados que son: sosa, carbonato, permanganato y ácido acético, esto debido a que el CONCEP ordena tener estos productos independientes a los productos genéricos, Figura 21 y Figura 22.

Figura 21

Bodega de químicos auxiliares y tinturas



Figura 22

Bodega de químicos controlados



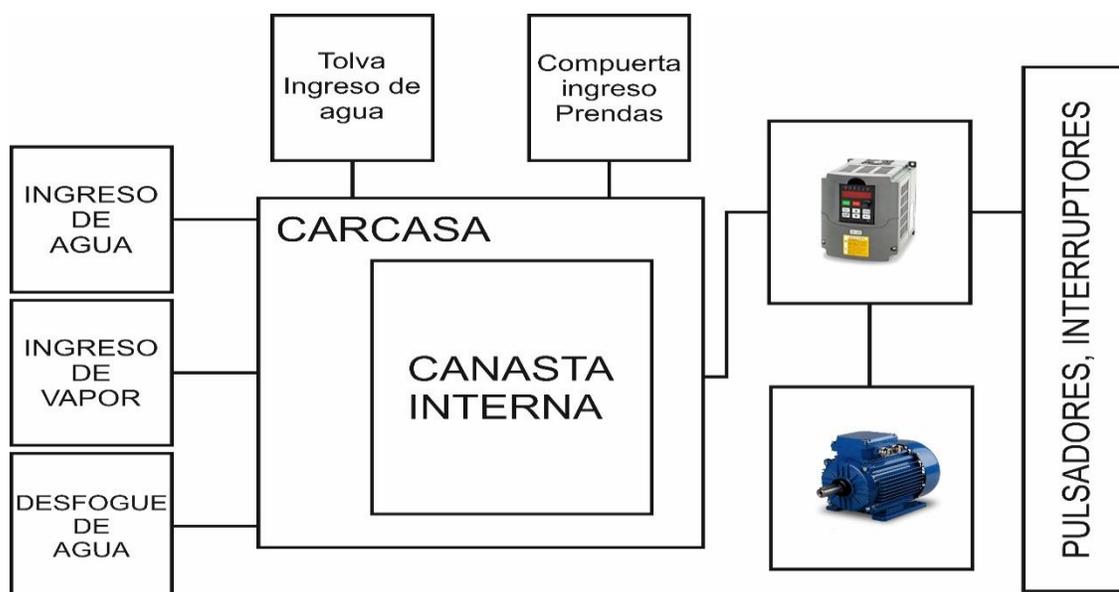
Descripción de la máquina.

Como se mencionó anteriormente una máquina de tintura es una máquina en la cual el material textil es llevado por el baño de tintura en este caso reactiva que impulsado por un

motor hace girar una canasta que gira en los dos sentidos por tiempo definidos, el ingreso de los productos se los realiza por medio de una tobera, creando un flujo de líquido que impregna y arrastra al material textil. Estas máquinas producen una fuerte acción mecánica sobre el tejido, en la planta de producción de PROLAVTEX como se describió en la Tabla 17 se poseen máquinas verticales y horizontales, para este caso nos centramos en las maquinas verticales con el siguiente esquema mostrado en la Figura 23.

Figura 23

Descripción general de la máquina vertical



Funcionamiento de la máquina vertical. Su funcionamiento se basa en el giro que genera un motor de 7 hp mostrado en la Figura 24, dicho motor esta comandado por un variador de frecuencia como se muestra en la Figura 25, el cual hace que la canasta realice los siguientes movimientos con el objetivo de tener los mejores resultados en el proceso de tintura. La canasta debe cumplir con un doble sentido de giro (1 min en sentido horario y 1 min en sentido antihorario), a esto se le denomina ciclo. No es una regla general, pero es un buen punto de inicio, esto puede variar dependiendo del tipo de material, se pueden experimentar con la variación de las RPM, y con el tiempo del ciclo, Tabla 18.

Figura 24*Motor 7 hp de la máquina vertical***Figura 25***Variador de frecuencia para el motor 7 hp de la máquina vertical***Tabla 18***Acciones del motor dentro del proceso de tintura*

Acción	Tiempo	Revoluciones
Giro Horario	30 seg	12 revoluciones
Detener	5 seg	0 revoluciones
Giro Antihorario	30 seg	12 revoluciones

En la Figura 26 se observa el motor que puede estar acoplado con poleas o catalinas y estas mediante bandas o cadenas transmiten el movimiento al eje al tambor, este se describe

como una canasta normalmente cilíndrica, dentro del cual se mezcla agua, químicos y la fibra textil. Dicho movimiento hace que se mezclen estos elementos y el movimiento relativo genera un proceso ya determinado. En las lavadoras sofisticadas existe un programador que permite a la lavadora la capacidad de realizar varios procesos de lavado según se seleccione o la necesidad, con diferentes rangos de velocidades de giro, con varios ciclos en los que permanece la lavadora girando a temperatura deseada o requerida por el proceso.

Figura 26

Bandas de unión del motor con la canasta



Para el ingreso de los químicos se utiliza una tolva como se muestra en la Figura 27, que está conectada a la carcasa y esta permite el ingreso al tambor, dicha tolva está conectada por una tubería de 2" con el fin de evitar obstrucciones y una fácil limpieza del instrumento. De la misma manera existe la compuerta de ingreso de la fibra textil el cual es presentado en la Figura 28, esta conecta directamente al tambor en parte frontal, la cantidad de prendas depende del tamaño de la canasta y la potencia del motor descrito en la Tabla 17. Para el ingreso de agua y vapor se utiliza dos entradas independientes una para cada una como se muestra en la Figura 29 y Figura 30 respectivamente, con las siguientes características, Tabla 19.

Figura 27

Tolva ingreso de químicos al tambor

**Figura 28**

Compuerta de ingreso de material textil



Figura 29*Sistema de ingreso de Agua***Figura 30***Sistema de ingreso de Vapor***Tabla 19***Características de la tubería para Agua y Vapor*

Agua	Vapor
Tubería de 2".	Tubería de 1".
Acero Inoxidable.	Acero negro y se le realiza un recubrimiento de fibra de vidrio.
Acoples y uniones de acero inoxidable.	Acoples y uniones de acero negro.
Válvula neumática On-Off de 2".	Válvula neumática On-Off de 1".

El ingreso de agua y vapor depende del nivel que se requiera dentro de la máquina y de la temperatura del baño, estos parámetros se establecen dentro del proceso y tipo de tintura, la activación de estas dos válvulas se las realiza mediante válvulas solenoide neumáticas de 24 VDC.

En cuanto al desfogue se realiza mediante la activación de un cilindro neumático de doble efecto de 30 cm de salida del pistón, activado por una válvula solenoide neumático de 24 VDC, este cilindro está acoplado a la carcasa de la máquina, Figura 31.

Figura 31

Desfogue de la máquina vertical



Consideraciones de la máquina para el proceso de tintura

El tiempo de rotación de cuerda. El tiempo de rotación o de vuelta (en caso de teñido a nivel laboratorio o teñido en prendas de vestir su equivalencia vendría a ser “LA AGITACION”). Es importante para un teñido reactivo que la cuerda complete su tiempo de vuelta en un periodo no mayor a 2 min ($t=2min$). Dentro de PROLAVTEX se ha determinado experimentalmente que un tiempo de rotación mayor a 2 min puede generar problemas de desigualación, degrade, manchas, color disparejo; si bien es cierto que no es una regla absoluta ya que depende de las características del colorante, del tipo de tejido y otras variables. Lo más importante es trabajar en el rango más confiable posible, también es

importante que los tiempos de vuelta sean similares entre todas las cuerdas, cuando estas son muy diferenciadas entre sí se obtienen tonos diferentes.

La agitación, conceptualmente podemos considerarla el equivalente al tiempo de rotación de cuerda, su importancia radica en que un buen teñido uniforme requiere de una agitación constante en máquinas frontales, sean estas máquinas de laboratorio (se tiñe muestras de tela) o en lavandería Industrial (se tiñen prendas de vestir) y se controla mediante las revoluciones por minuto (rpm) de las máquinas presentado en la Tabla 18. Ejemplo:

- Baja carga = 30 rpm
- Alta carga = 45 rpm

Modulación de la temperatura. La acción de la temperatura sobre los colorantes durante la tintura permite entre otras cosas la mejor difusión de los colorantes del baño de tintura hacia el material textil, mejora el rendimiento tintóreo y actúa como agente de migración por eso es importante el control de temperatura dentro de las máquinas lavadoras.

Se debe iniciar la tintura tomando en consideraciones del baño, en forma general, a baja temperatura 40°C – 60°C salvo algunas excepciones. Luego de la dosificación del colorante y la adición del electrolito se da un tiempo de igualación no menor a 20 min, antes de la dosificación del álcali. En algunos colores denominados críticos, donde la compatibilidad no está garantizada (beige, grises, brown, verde olivo, etc.) se diseñan curvas de tintura denominadas migratorias, es decir se eleva una temperatura prudente (80 °C por ejemplo) y se mantiene en el rango de 15 a 20 min, luego se enfría a 60 °C para su fijación con álcali, esto permite homogenizar de mejor manera los colorantes sobre la fibra antes de su fijación o reacción química. En la etapa de fijación (etapa de reacción química) la dosificación del álcali se debe realizar a baja temperatura 60 °C, esto para prevenir una fijación súbita con consecuencia de mala igualación; hay excepciones cuando se trabajan con colorantes de baja reactividad en el cual se realiza la fijación a temperaturas mayores 80 °C.

Variables a controlar en la máquina.

Dentro de la experiencia del operario se definen las siguientes variables primordiales para la mejora continua del proceso y por ende del producto, afectando tanto a la utilidad de la empresa como al medio ambiente, Tabla 20.

Tabla 20

Variables esenciales controladas en la máquina

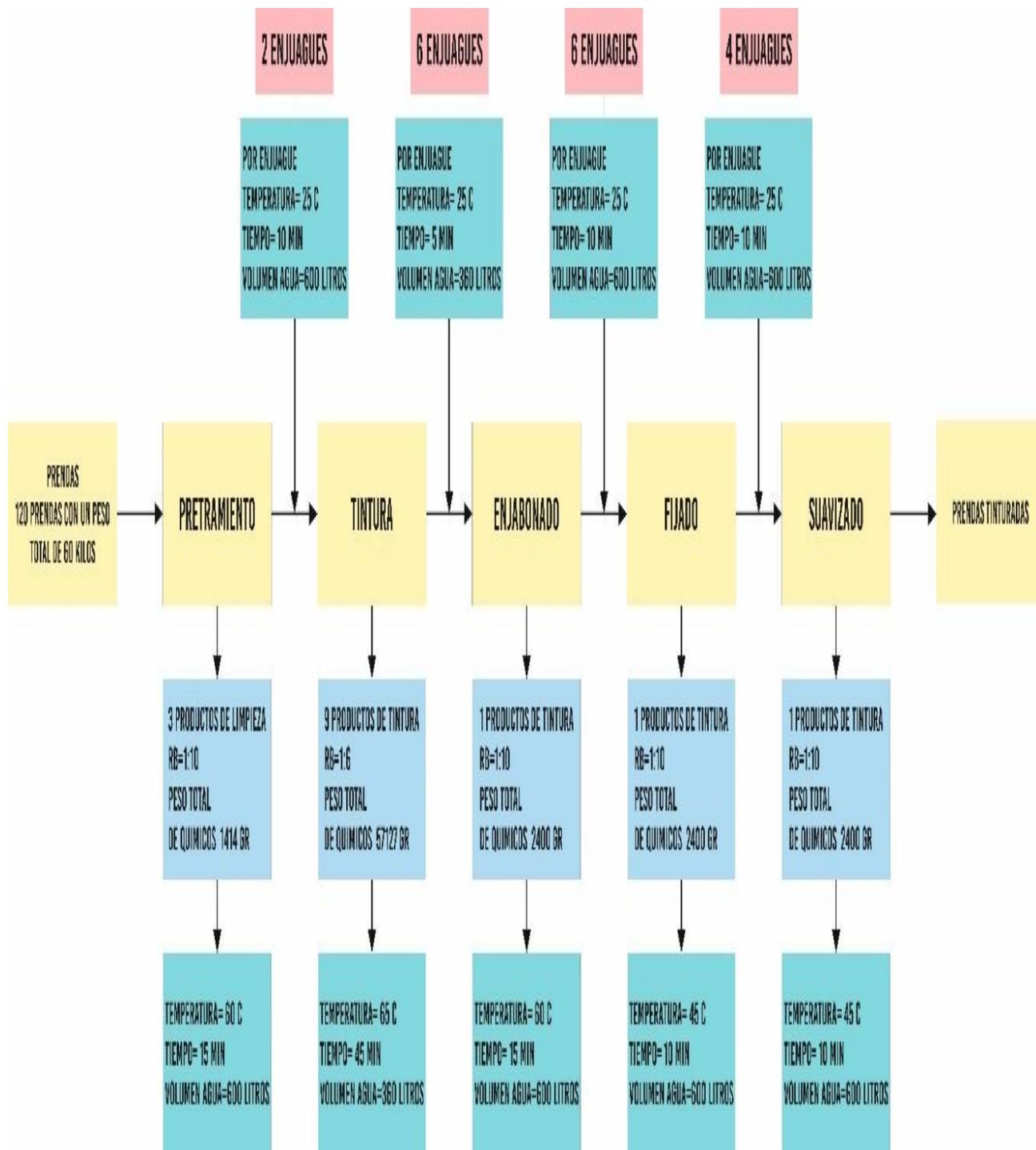
Variable	Descripción
Temperatura	Rangos del baño dentro de 30 °C hasta 80 °C, con la finalidad de que los auxiliares y tinturas se encuentren en condiciones óptimas para trabajar
Nivel de Agua	Se los especifica de 18 m^3 hasta 60 m^3 , para mantener las relaciones de baño y se cumplan con las ecuaciones descritas en el capítulo anterior.
Tiempo	En el rango de 2 min hasta 50 min dependiendo el proceso, afecta al agotamiento de los químicos
pH	Rangos de 7 a 11.5, para que los químicos estén en medios en los que puedan actuar de una manera óptima según recomienda las fichas técnicas

Proceso de teñido

Este proceso en la empresa PROLAVTEX se especifica en la Figura 32 en el cual se describe los pasos que sigue la fibra textil para darle color, adicional se especifica los valores óptimos de trabajo dentro de la máquina, los cuales se centra el desarrollo de la automatización del proceso según dichos valores.

Figura 32

Proceso definido por la empresa



Control de Calidad

El control de calidad es realizado por personal con la experticia necesaria para identificar problemas y sus causas como se detalla en la Tabla 21.

Tabla 21

Control de calidad

Fotografía	Descripción
	<p>Problema: Mal proceso de tintura, tono disparejo. Causa: Baja velocidad de rotación de la canasta. Identificación: Observación visual. Arreglo: Reproceso leve. Nivel de incidencia económica: Medio Bajo.</p>
	<p>Problema: Daño de la licra. Causa: Temperatura muy elevada. Identificación: Observación visual. Arreglo: No existe arreglo. Nivel de incidencia económica: Alto.</p>
	<p>Problema: Desgaste en la fibra. Causa: Tiempos prolongados del proceso. Identificación: Observación visual. Arreglo: Tintura completa. Nivel de incidencia económica: Medio alto.</p>
	<p>Problema: Manchas en la fibra. Causa: Niveles de agua bajos. Identificación: Observación visual. Arreglo: Reproceso leve. Nivel de incidencia económica: Medio bajo.</p>

Elementos para la automatización de la máquina vertical

Basado en las características requeridas dentro del proceso observado en la Figura 32, que es definido por las variables que intervienen en el mismo se establece la automatización contrastando con las fichas técnicas de los equipos y elementos necesarios.

Caracterización del controlador. Considerando los requerimientos del proceso de lavado que consta de la medición de variables que conjuntamente con los tiempos establecidos dentro de la receta se deben accionar los actuadores y controlar las RPM del motor, así como su sentido de giro, se consideró un controlador lógico programable que permita ejecutar varias tareas de automatización y que su arquitectura respecto a las entradas y salidas sean las suficientes. Los protocolos de comunicación industrial también fueron considerados con la proyección de registrar la data para futuros estudios con valor en la toma de decisiones de la empresa. El PLC Logo de la marca Siemens es un dispositivo de gama baja, pero de gran capacidad que cumple con los estándares de calidad internacional, de igual forma íntegra comunicación tipo Ethernet para su configuración y otras funcionalidades.

Caracterización de los sensores. En el mercado nacional existe una infinidad de sensores para cada tipo de aplicación, apoyado en los criterios de tipo de medición que integra el rango de valores, resolución, exactitud, confiabilidad, requisitos de alimentación eléctrica y las condiciones ambientales en las que va a ser instalado; se encogieron los sensores que de igual forma poseen una salida compatible al controlador seleccionado.

Material consumible. Según la distribución de los elementos antes mencionados y del tablero de control, es necesario cable flexible, botones, luces piloto, elementos de protección, elementos de fuerza que garanticen el correcto funcionamiento de la automatización y su protección ante fluctuaciones en la red. Para su selección se considera que cumplan los requisitos técnicos y recomienden los fabricantes de los equipos utilizados.

Capítulo IV

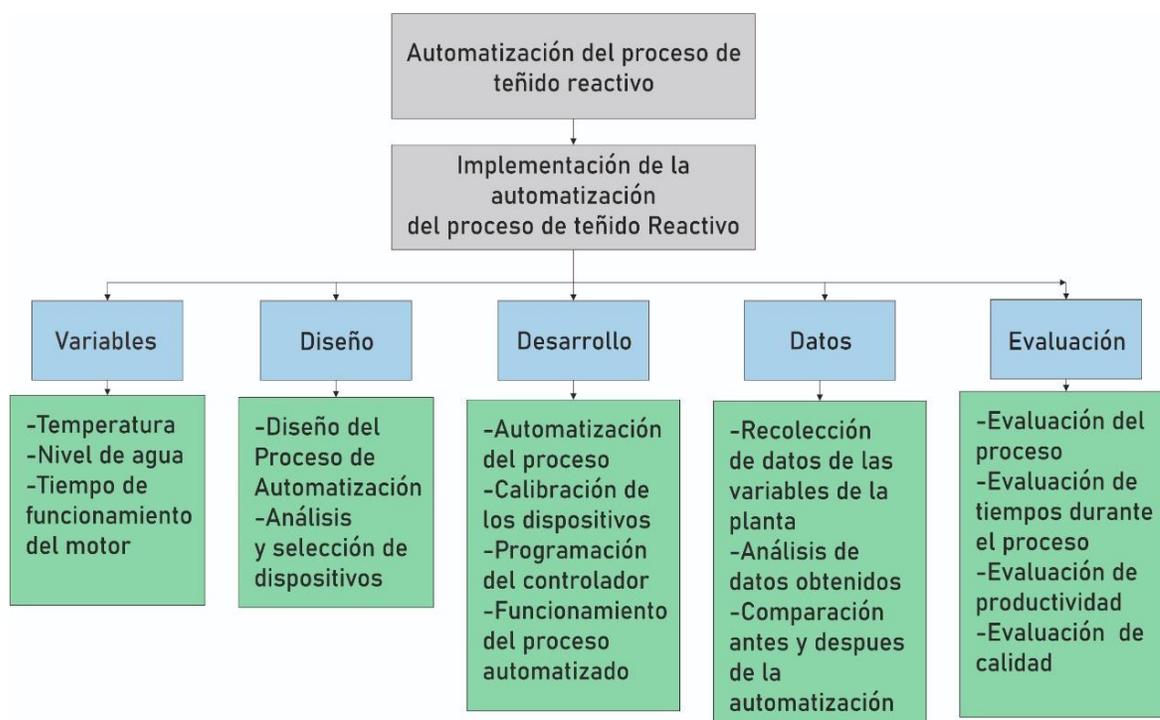
Implementación

Esquema del proceso para automatizar

El esquema que se utiliza para automatizar la máquina vertical dentro de la empresa PROLAVTEX se muestra en la Figura 33. Para un correcto desarrollo del sistema automatizado se considera el sistema de trabajo dentro de la empresa, acorde a las órdenes de producción y la experiencia del operario que manipula la máquina.

Figura 33

Automatización del proceso

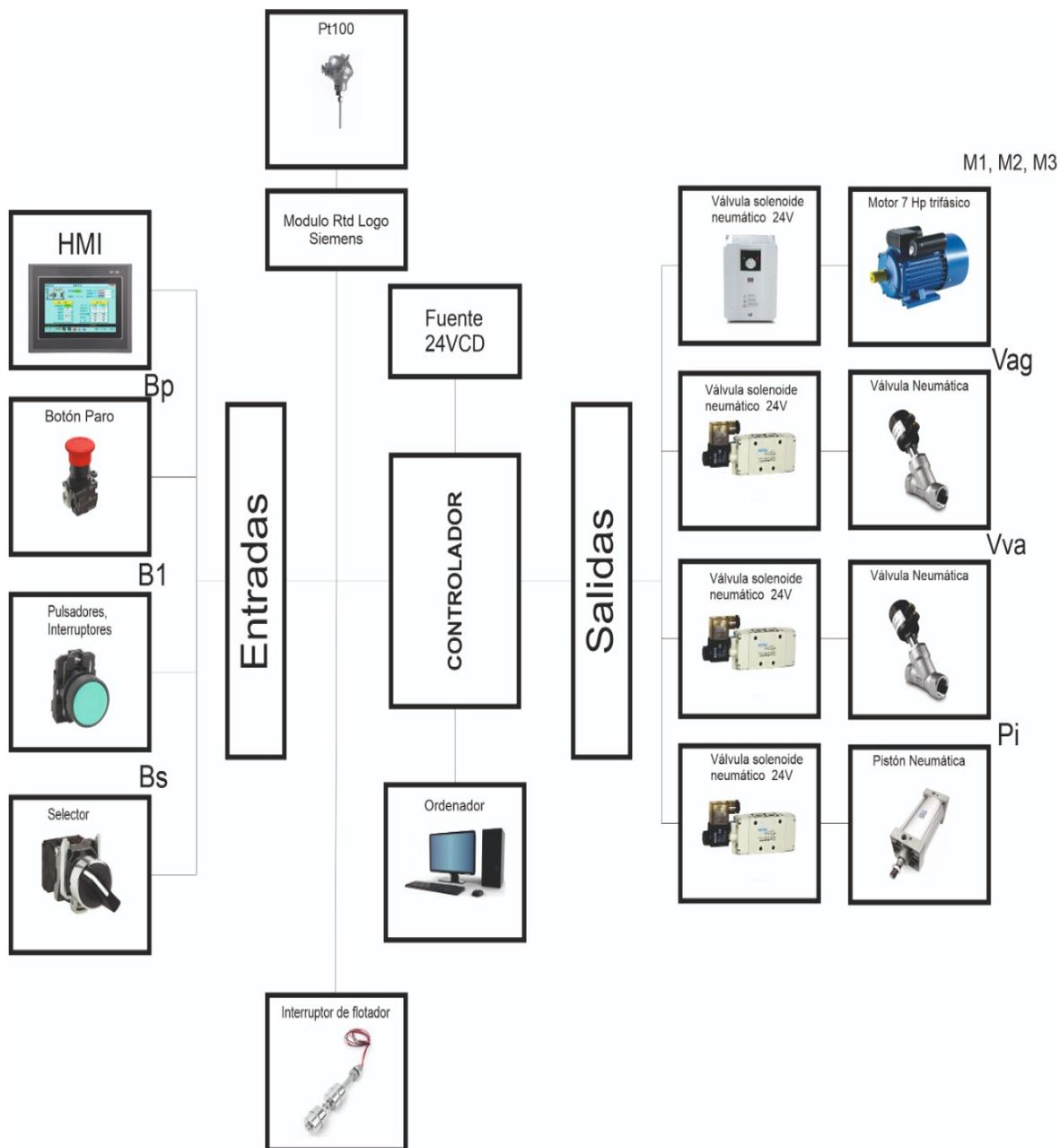


Variables del controlador

Para la automatización es necesario definir las señales de entrada y salida como se muestra en la Figura 34. Cada señal está diferenciada por una Tag que referencia su función dentro del proceso.

Figura 34

Diagrama de señales



Señales de Entrada. Las señales definidas en la Tabla 22 sirven de referencia para ejecutar los bloques del programar del PLC acorde a los requerimientos del proceso.

Tabla 22*Señales de Entrada*

TAG	Tipo Equipo	Servicio o Función	Señal	Variable
BP	Botón	Paro de emergencia	RELE+24V	
B1	Botón	Inicio del proceso	RELE+24V	
Bs	Switch	Manual/Automático	RELE+24V	
Nre	Switch	Alto Nivel de Agua	RELE+24V	Nivel
Pt100	Transmisor	Temperatura	DATA	Temperatura

Señales de Salida. Las señales definidas en la Tabla 23 son las salidas del controlador que realizan las acciones de control sobre el elemento de control final con el objetivo de actuar sobre las variables manipuladas.

Tabla 23*Señales de Salida*

TAG	Servicio o Función	Señal	Variable
M1	Inicio o paro motor	RELE+24V	Tiempo
M2	Giro motor horario	RELE+24V	Tiempo
M3	Giro motor antihorario	RELE+24V	Tiempo
Vag	Control válvula agua	RELE+24V	Nivel
Vva	Control válvula vapor	RELE+24V	Temperatura
Pi	Control pistón neumático desfogue	RELE+24V	Tiempo

Filosofía de Control.

Cuando la máquina se encuentre en condiciones de operación normal, los equipos pueden estar en modo manual o modo automático como se describe en la Figura 35. En el modo manual el operario mediante la interfaz en la pantalla HMI puede accionar para abrir o cerrar las válvulas solenoide neumático, adicional puede disponer de la activación y paro del motor, en este modo no se toman en cuenta las entradas al PLC.

En el modo automático se asignan los parámetros que se encuentran detallados en la receta de la empresa, estos parámetros inician la estrategia de control del PLC generando acciones de control en función de las entradas del controlador.

Figura 35

Modo de control

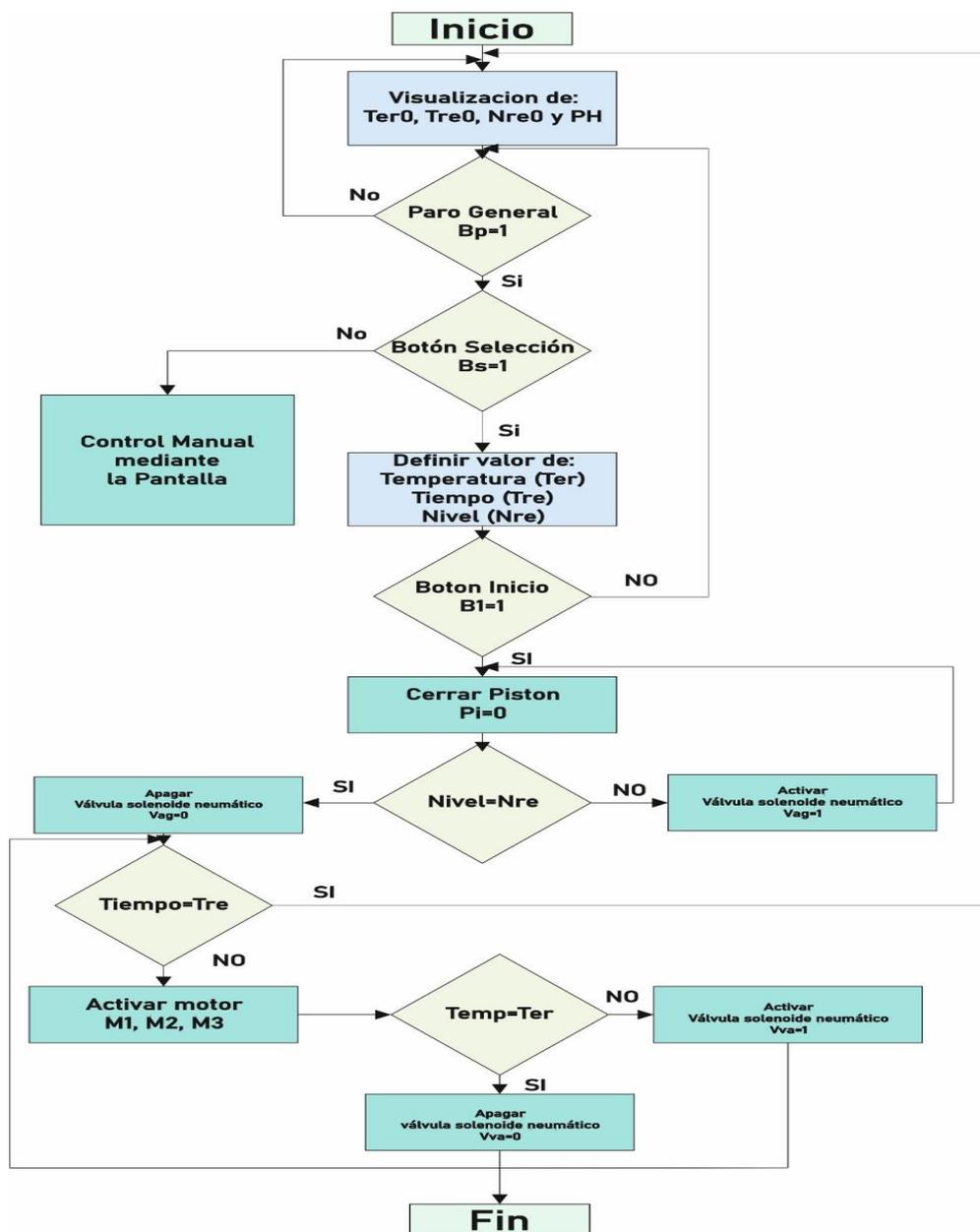


En la Figura 36 se describe el flujo de control programado en el PLC, en modo automático el proceso inicia con el ingreso de parámetros para continuar con la verificación de las condiciones escaneadas en la periferia del PLC. El algoritmo valida que se encuentre cerrado el pistón neumático de desfogue para iniciar el proceso de llenado de agua, una vez conseguido el nivel referencial se cierra la válvula de agua para empezar el movimiento del tambor durante el tiempo especificado con cambios de giro, durante ese movimiento se aumenta la temperatura mediante la válvula de vapor hasta que cumple con la temperatura

referencial y se procede al cierre de esta válvula para finalmente abrir el pistón neumático de desfogue al haber cumplido el tiempo especificado.

Figura 36

Estrategia de control



Alarmas

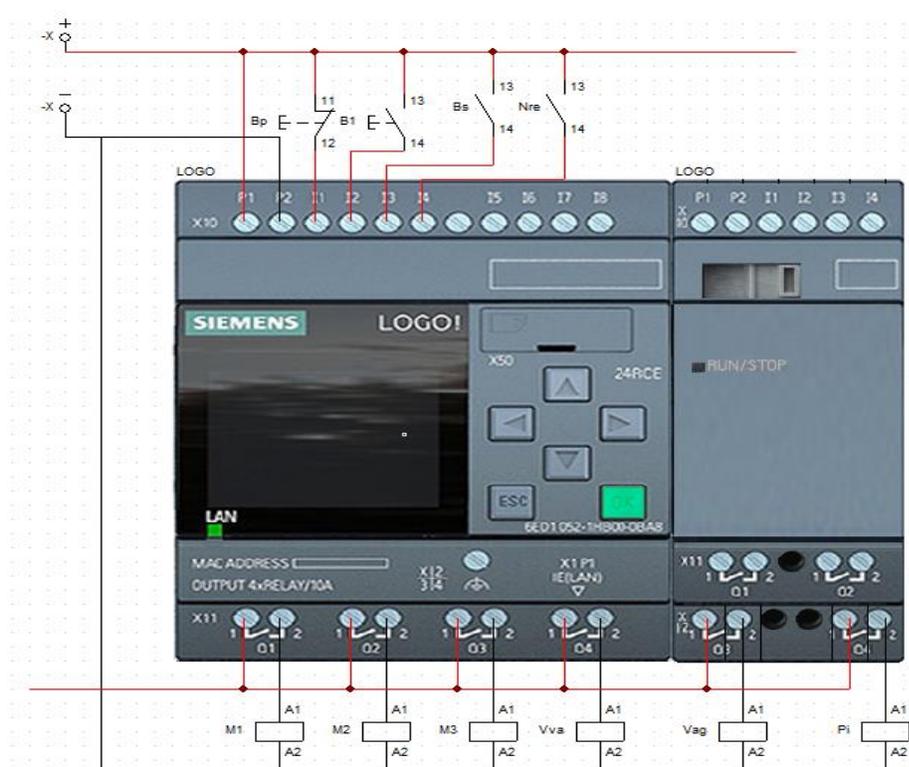
Se establece una alarma en estado alto respecto al nivel de agua, puesto que según lo descrito en los anteriores capítulos la cantidad de agua debe ser específica para las soluciones mezcladas en las misma. Esta alarma se visualiza en la transición del cambio de color del display en la pantalla HMI.

Diagrama eléctrico y de Conexión

El sistema de control tiene como elemento principal el PLC en el cual se conectan todas las entradas y salidas definidas que van a cambiar su estado acorde a la filosofía de control descrita y dependiente de los equipos de protección, Figura 37.

Figura 37

Diagrama del Sistema de Control



Las conexiones neumáticas se las realiza mediante una fuente de aire suministrado por un compresor de 5 hp, que llega a las válvulas solenoide neumático 5/2 que comandan los cilindros simple efecto (agua y vapor) y de doble efecto (desfogue) por medio de mangueras de 6 mm y 8 mm, las conexiones se indica en las Figuras 38 y 39 respectivamente.

Figura 38

Diagrama de conexión de la válvula de agua y vapor

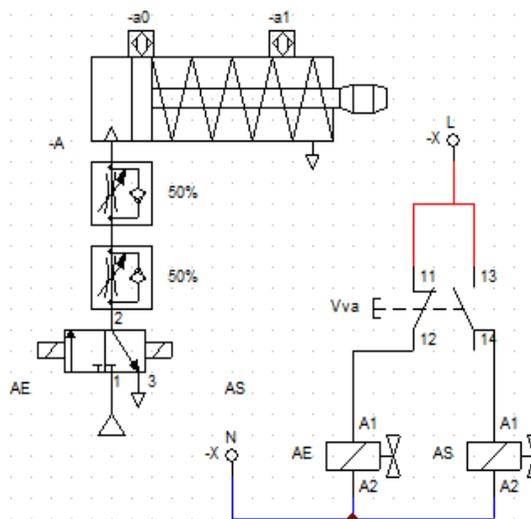
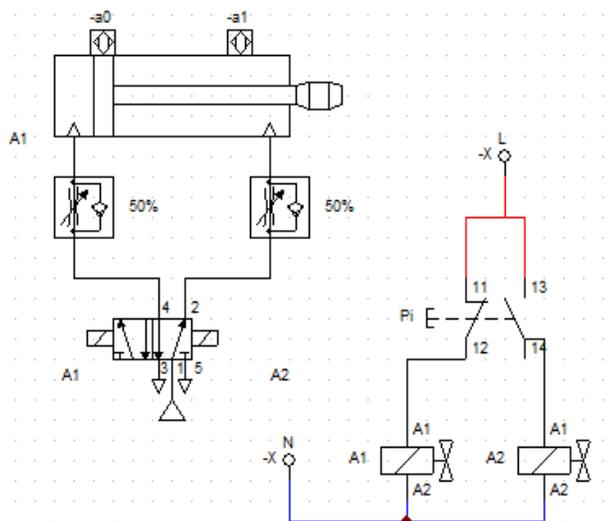


Figura 39

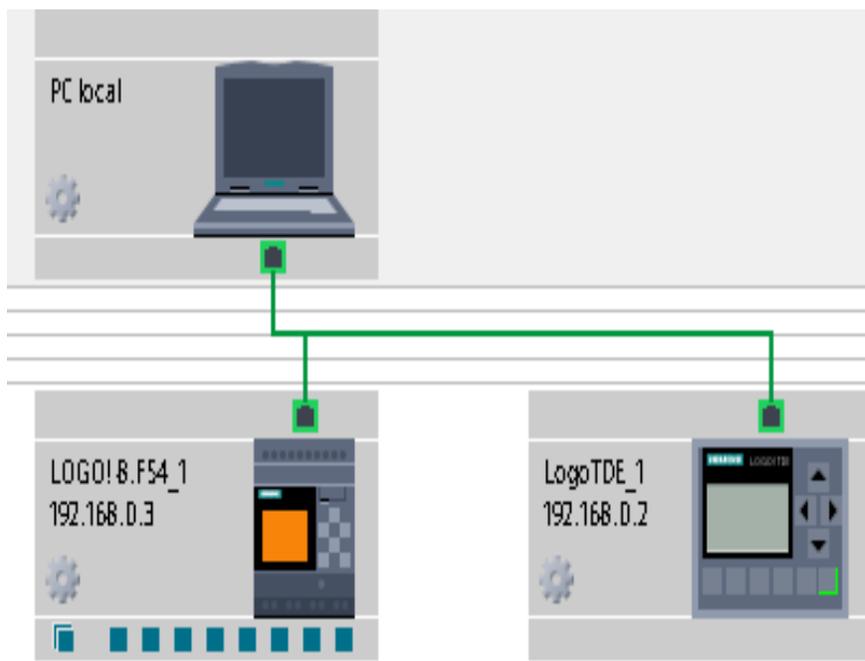
Diagrama de conexión del pistón neumático de desfogue



La comunicación con la pantalla HMI se la realiza mediante Ethernet, ambos dispositivos están conectados a una red local con una configuración típica (puerta de enlace: 192.168.0.1, máscara: 255.255.255.0). Cada dispositivo tiene asignado una ip fija como se muestra en la Figura 40.

Figura 40

Diagrama de conexión de los dispositivos



Equipos e instrumentos

A continuación, se describen los equipos utilizados para la automatización bajo los criterios mencionados en el capítulo anterior.

Controlador Lógico Programable. Actualmente en el mercado se puede considerar el PLC Logo de la marca Siemens que se presenta en la Figura 41, como un buen controlador con conexión a la nube que presenta una variedad de funcionalidades y tiene las siguientes características, Tabla 24.

Figura 41

PLC Logo



Tabla 24

Características del PLC Logo

Característica	Detalle
Alimentación	24VDC.
Entradas	8 (digitales).
Salidas	4 tipo relé, carga inductiva: 3A máx., con carga resistiva: 10A máx.
Display	6 líneas con 16 caracteres que permite visualizar mensajes, variables, etc. Color personalizable acorde a estados del programa.
Módulos	Máximo de 24 entradas / 20 Salidas digitales.
Memoria	Soporta hasta 400 bloques.
Comunicación	Ethernet.
Protocolo	Modbus TCP/IP.
Reloj	NTP configurable.
Servidor Web	Embebido.
Micro SD	Si.

Módulos de expansión Logo. El PLC Logo permite ampliar su entradas y salidas mediante módulos compatibles con tecnología plug and play. Para el sensor de temperatura tipo termoresistencia (RTD) es necesario acondicionar la señal emitida por el mismo en una señal estandarizada para el PLC, Figura 42. Sus características son detalladas en la Tabla 25.

Figura 42

Módulo AM2 RTD



Tabla 25

Módulo AM2 RTD

Característica	Detalle
Alimentación	12 - 24 VDC
Consumo	30 mA
Tipo de conexión	2 o 3 hilos
Tipo de sensor	Pt100 y Pt1000

Pantalla HMI. Para visualizar las variables que intervienen en el proceso y que el operario pueda manipular para controlar el proceso se integra una pantalla Logo TDE observada es la Figura 43, que permite una comunicación transparente con el PLC mediante Ethernet. Sus características se detallan en la Tabla 26.

Figura 43

Logo TDE



Tabla 26

Características de la pantalla Logo TDE

Característica	Detalle
Líneas	6 líneas.
Caracteres	20/10 caracteres por línea, 40/20 en modo teletipo.
Color de fondo	blanco, naranja, rojo.
Alimentación	12-24 VDC.
Entradas	Seis teclas estándar, cuatro teclas de función (botones con una superficie táctil accesibles).
Interfaz	2 puertos Ethernet RJ45.
Protección	IP20, Frontal IP65.

Fuente de alimentación. El suministro de voltaje continuo (VDC) es necesario para alimentar al PLC, sus entradas, salidas y la pantalla HMI. De igual forma Logo de Siemens tiene su línea de fuentes de alimentación Logo Power con un alto rendimiento y una instalación flexible como se muestra en la Figura 44. Sus características son descritas en la Tabla 27.

Figura 44

Logo Power DC 24V



Tabla 27

Características Logo Power DC 24V

Característica	Detalle
Alimentación	100 - 240 VAC
Salida	24 VDC/2.5 A
Potencia	69 W
Protección	IP20
Montaje	Riel DIN

Sensores. Los sensores cumplen una función muy importante dentro del proceso de control los cuales tiene características específicas, estos se detallan a continuación.

Sensor de Nivel. Respecto a la medición del nivel es empleado un sensor flotador como se muestra en la Figura 45, su principio de funcionamiento es directa y simple mediante

unos interruptores magnéticos activados por el desplazamiento del elemento flotador, este elemento contiene internamente un imán permanente que por su efecto permite abrir y cerrar los interruptores magnéticos. Sus características se describen en la Tabla 28.

Figura 45

Sensor de nivel líquido flotador en Acero Inoxidable

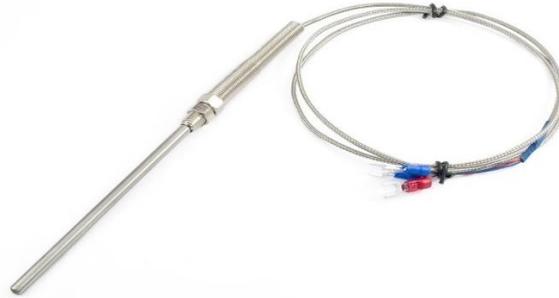


Tabla 28

Características del sensor de nivel

Característica	Detalle
Corriente máxima switch	0.5.
Corriente máxima de carga	1A.
Temperatura de trabajo	-30 a 125 °C.
Alimentación	220 VAC o 12 VDC.
Tipo de señal	On – Off (Digital).
Material	Inox.

Sensor de Temperatura. En consideración a los niveles de temperatura detallados en el capítulo anterior se utiliza un sensor termoresistivo (RTD), posee conexión a dos hilos mostrado en la Figura 46, cuya resistencia eléctrica es variable en función de la temperatura generando 100Ω a 0°C , por lo que es necesario acondicionar la señal para su correspondiente medición en el PLC. Su rango de trabajo y otras características se presentan en la Tabla 29.

Figura 46*Sensor de temperatura Pt100***Tabla 29***Características del sensor de temperatura*

Característica	Detalle
Rango	-100°C hasta +400°C.
Precisión	± 0.3°C a 0 °C.
Material	Inox.
Protección del cable	Fibra de vidrio.

Actuadores. Estos elementos controlan el desplazamiento de las compuertas de ingreso y salida de sustancias líquidas de la máquina lavadora industrial, en diferentes partes las mismas que se detallan a continuación.

Válvula solenoide neumático. En términos generales el solenoide describe mecanismos para la conversión de energía en movimiento. Este tipo de válvulas regulan el flujo de aire actuando como un interruptor, cuando está polarizado el solenoide la válvula se abre caso contrario permanece cerrada, Figura 47. Se integra este tipo de válvulas para ser controladas por el PLC para comandar la apertura o cierre de agua, vapor y el desfogue del baño. En la Tabla 30 se describen las características.

Figura 47

Válvula solenoide neumático



Tabla 30

Características de la válvula solenoide neumático

Característica	Detalle
Alimentación	24 VDC.
Presión de trabajo	0-10 Kg/cm ² .
Presión máxima	1.5 Mpa.
Potencia de consumo	3W DC.
Fluidos compatibles	Aire y gas.
Protección	IP65.
Material	Aluminio y plástico.

Bloque de válvulas neumáticas. Con el propósito de agrupar las válvulas y no tenerlas distribuidas, a más de ello para optimizar en materiales y facilidad de mantenimiento se integra el bloque de válvulas neumáticas observado en la Figura 48. Sus características se describen en la Tabla 31.

Figura 48*Bloque de válvulas neumáticas***Tabla 31***Características del bloque de válvulas neumáticas*

Característica	Detalle
Presión máxima	1.5 Mpa
Fluidos compatibles	Aire y gas
Protección	IP65
Material	Aluminio

Instalación. El tablero instalado es en acero inoxidable por consideraciones del ambiente de trabajo, puesto que existe químicos corrosivos y vapores que expide la máquina al momento de elevar la temperatura. Este tablero fue colocado adjunto a la máquina para disminuir la distancia del cableado, Figura 49.

Figura 49

Tablero de Control instalado en PROLAVTEX



Dentro del tablero se divide en tres secciones: la primera donde se encuentra las protecciones y la fuente de alimentación 24 VDC con sus respectivas borneras para distribución presentado en la Figura 50, en la segunda sección está instalado el PLC LOGO con los módulos de expansión respectivos como se muestra en la Figura 51 y en la última sección se ubica el variador de frecuencia con las protecciones debidas y las conexiones de control (PLC) y fuerza (motor de la máquina), Figura 52. Esta sección está alejada del controlador por cuestiones de espacio y comodidad para el operario.

Figura 50

Tablero de Control: protecciones y fuente de alimentación



Figura 51

Tablero de Control: PLC Logo

**Figura 52**

Tablero de Control: Variador de Frecuencia



Para la parte neumática se instala en la parte inferior del tablero de control, por facilidad en las conexiones eléctricas, además de que se encuentran cerca las válvulas de vapor, agua y el pistón doble efecto, para una mejor instalación y orden en las válvulas solenoide neumáticas

se utiliza el bloque de válvulas neumáticas como se muestra en la Figura 53, puesto que con una línea de alimentación se puede acoplar varios elementos para la misma.

Figura 53

Instalación bloque de válvulas neumáticas



Los sensores están ubicados dentro de la máquina con el objetivo de que estén en contacto directo con las variables físicas a medir, para ello se realiza adecuaciones mecánicas dentro de la carcasa de la máquina vertical, para el sensor de temperatura (RTD) se realiza un agujero en la parte posterior de la carcasa a una altura de 2 cm de la base como se observa en la Figura 54.

Para el sensor de nivel se realiza una cavidad rectangular en la parte frontal de la máquina para que ingrese el nivel de agua proporcional al que está ingresando a la canasta y dentro de esta se encuentra el sensor flotador presentado en la Figura 55, dicha cavidad también cumple con la función de proteger al sensor puesto que al momento que gira la canasta esta produce fricciones mecánicas.

Figura 54

Instalación sensor de temperatura

**Figura 55**

Instalación sensor de nivel



Capítulo V

Resultados

Balance de la empresa

Para el análisis de los datos fueron necesarios los balances del año 2021 que fueron facilitados por la administración de la empresa.

Datos de prendas conformes e inconformes

A continuación, en la Tabla 32 se documenta el balance de prendas procesadas, en la cual se detalla el total de prendas, las prendas conformes y las prendas inconformes agrupadas mensualmente con sus respectivos porcentajes, cabe recalcar que los reprocesos se considera a las prendas que entran otra vez a un proceso de tintura pero que el cliente recibe y acepta el lote. Estos datos corresponden al total de la producción de la planta, esto quiere decir lo procesado por: 7 lavadoras industriales, 1 máquina centrifugadora y 4 secadoras.

Tabla 32

Prendas conformes e inconformes

Meses	Prendas Totales	Prendas Conformes	Prendas Inconformes	% Prendas Conformes	% Prendas Inconformes
Enero	19883	19486	398	98.0	2.0
Febrero	29968	29669	300	99.0	1.0
Marzo	31115	30804	311	99.0	1.0
Abril	28505	28220	285	99.0	1.0
Mayo	27597	27045	552	98.0	2.0
Junio	33740	32727	1012	97.0	3.0
Julio	36783	36048	736	98.0	2.0

Meses	Prendas Totales	Prendas Conformes	Prendas Inconformes	% Prendas Conformes	% Prendas Inconformes
Agosto	36811	36075	736	98.0	2.0
Septiembre	37720	37343	377	99.0	1.0
Octubre	38011	36871	1140	97.0	3.0
Noviembre	39848	39051	797	98.0	2.0
Diciembre	70752	70045	708	99.0	1.0
	430733	423381	7352	98.2	1.8

Análisis

Prolavtex presenta de un total de 430,733 prendas procesadas en el año 2021 un promedio de inconformidad en prendas del 1.8%, tomando en consideración el porcentaje de conformes en los diferentes meses de producción se observa que los promedios de aciertos son del 98.2%.

Interpretación

Mediante los datos obtenidos se determina que existe una mayor cantidad de prendas conformes del total de prendas procesadas en el año 2021, pero existe una cantidad de prendas que se realiza algún tipo de reproceso afectando de manera directa a la utilidad de la empresa.

Costo de prendas inconformes

En la Tabla 33 se describe los valores de inversión al momento de realizar un proceso de tintura reactiva de la empresa en el periodo de un mes, para el costo de unidad de cada prenda se considera la suma de la parte administrativa, la inversión de los productos necesarios y depreciación de maquinaria obteniendo un total de \$ 0.90 por prenda; además se tiene un valor estimado del reproceso de un 100% más al valor de la primera tintura sumado

un 25% por pérdidas de tiempo, resultando un valor promedio de reproceso por \$ 2.03 por prenda.

Tabla 33

Costos de prendas inconformes

Meses	Prendas Totales	Costo Total	Prendas Inconformes	Costo Normal	Costo Reproceso
Enero	19883	17895	398	357.9	807.3
Febrero	29968	26971	300	269.7	608.4
Marzo	31115	28003	311	280.0	631.6
Abril	28505	25654	285	256.5	578.7
Mayo	27597	24837	552	496.7	1120.4
Junio	33740	30366	1012	911.0	2054.7
Julio	36783	33105	736	662.1	1493.4
Agosto	36811	33130	736	662.6	1494.5
Septiembre	37720	33948	377	339.5	765.7
Octubre	38011	34210	1140	1026.3	2314.9
Noviembre	39848	35863	797	717.3	1617.8
Diciembre	70752	63677	708	636.8	1436.3
	430733	387659	7352	6616.4	14923.7

Análisis e Interpretación

En la tabla anterior se analiza que para una producción anual de 430,733 prendas se necesitaría una inversión de \$ 387,659 en el caso de que no existiese reprocesos, pero como se puede observar al momento de realizar un reproceso esa inversión aumenta de \$ 6,616.4 a \$ 14,923.7 anual considerando el 1.8% de reprocesos quedando una pérdida de \$ 8,307.3 anuales, cabe destacar que estos reprocesos se le considera a un ingreso nuevo de la producción ya tinturada, mas no a la devolución de prendas por fallas del proceso en general.

Indicadores de consumo

En las Figura 56, 57 y 58 se describe los consumos mensuales de combustible, eléctrico y agua respectivamente del año 2021, con una producción de 430,733 anual, dando a notar que los consumos más altos se efectúan en los meses de marzo, julio, noviembre y diciembre por motivos del alza en el ingreso de producción a la empresa debido a feriados por fiestas nacionales. El valor del combustible está subsidiado por cuantía doméstica.

Figura 56

Consumo de combustible

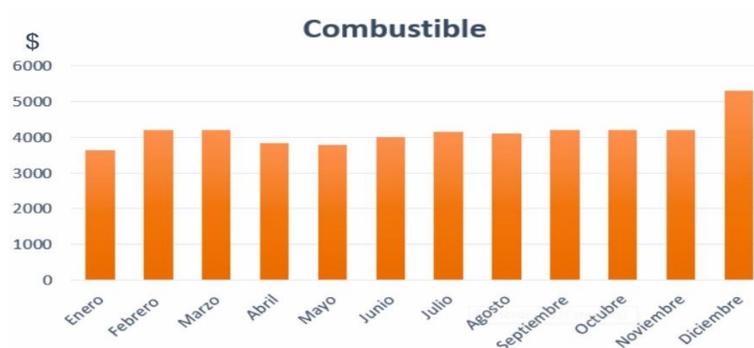
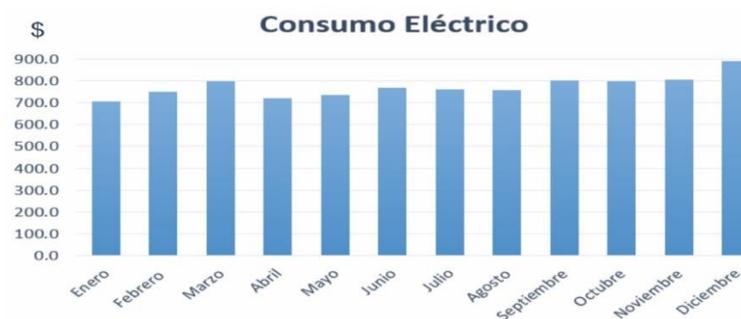


Figura 57

Consumo eléctrico



Cabe destacar que en las gráficas de agua es variable puesto que la empresa cuenta con una entrada de un canal de agua, el cual se paga un monto anual, en el caso de que no exista agua en el mismo, se hace un consumo mediante tanqueros de agua.

Figura 58*Consumo de agua***Desempeño del proceso**

Para validar el correcto funcionamiento de la automatización se obtuvo los datos de la máquina lavadora 1 de 60 Kg de capacidad.

Análisis de Producción Tintura Reactiva. A continuación, en la Tabla 34 se detalla la producción realizada en esta máquina agrupada en períodos de tiempo como diario, semanal y mensual.

Tabla 34*Prendas procesadas*

PERÍODO	LOTE	PRENDAS	PESO(Kg)
Diario	4	300	200
Semanal	20	1500	1000
Mensual	80	6000	4000

En la Table 35 se presentan los reprocesos realizados en períodos semanal y mensual, estos datos son tomados del registro de producción de bodega.

Tabla 35*Prendas reprocesadas*

PERÍODO	PRENDAS	PESO(Kg)
Semanal	20	12
Mensual	86	47

Análisis e Interpretación

Como se puede observar al comparar el porcentaje promedio de reprocesos mensual del año 2021 con un valor de 1.8%, existe una disminución del 0.4% con la máquina automatizada que obtiene un valor de 1.4%. Es casi imposible eliminar al 100% los reprocesos puesto que también dependen de factores externos como la calidad del agua.

Análisis de las Variables

Respecto a las variables controladas en el proceso de tintura se especifican los valores recomendados por los fabricantes de los químicos utilizados, Tabla 36.

Tabla 36

Valores recomendados de cada subproceso

Subprocesos	Volumen (l)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
Pretratamiento	600	60	15
Enjuague (2)	600	25	10
Tintura	360	65	45
Enjuague (4)	360	25	5
Enjabonado	600	60	15
Enjuague (4)	600	25	10
Fijado	600	45	10
Enjuague (3)	300	25	25
Suavizado	600	45	10

En las Tablas 37 y 38 se detallan cada una de las variables que intervienen en el proceso, la primera tabla se refiere a los valores antes de la automatización y la segunda después de la automatización. Estos datos fueron obtenidos de cada una de las curvas del proceso que tiene cada maquinista junto a su orden de producción.

Tabla 37

Valores observados antes de la automatización

Subprocesos	Volumen (l)			Temperatura (°C)			Tiempo(min)		
	Reco.	Observado	e	Recom	Observado	e	Recom	Observado	e
Pretratamiento	600	580	20	60	58	2	15	12	3
Enjuague (2)	600	598	2	25	23	2	10	15	5
Tintura	360	350	10	65	65	0	45	50	5
Enjuague (4)	360	345	15	25	23	2	5	10	5
Enjabonado	600	578	22	60	57	3	15	17	2
Enjuague (4)	600	580	20	25	24	1	10	12	2
Fijado	600	588	12	45	44	1	10	13	3
Enjuague (3)	300	280	20	25	23	2	25	27	2
Suavizado	600	579	21	45	44	1	10	12	2
		$\bar{x1}$	15.8		$\bar{x2}$	1.6		$\bar{x3}$	3.2

Tabla 38

Valores observados después de la automatización

Subprocesos	Volumen (l)			Temperatura (°C)			Tiempo(min)		
	Recom.	Observado	e	Recom.	Observado	e	Recom.	Observado	e
Pretratamiento	600	590	10	60	58	2	15	15	0
Enjuague (2)	600	598	2	25	25	0	10	10	0
Tintura	360	362	2	65	66	1	45	45	0
Enjuague (4)	360	360	0	25	23	2	5	5	0
Enjabonado	600	598	2	60	62	2	15	15	0
Enjuague (4)	600	599	1	25	27	2	10	10	0
Fijado	600	590	10	45	44	1	10	10	0
Enjuague (3)	300	288	12	25	26	1	25	25	0
Suavizado	600	587	13	45	46	1	10	10	0
		$\bar{x1}$	5.8		$\bar{x2}$	1.3		$\bar{x3}$	0

Análisis e Interpretación

Al analizar las tablas observamos que ha disminuido el error en cada una de las variables, en la variable volumen tenemos una disminución de 15.8 l a 5.8 l, en el caso de la temperatura se obtiene una reducción de 1.6 °C a 1.3 °C. La variable tiempo ha reducido totalmente el error porque se encuentra automatizado el flujo del proceso. En el caso de la temperatura y volumen no se consigue disminuir totalmente el error por el tipo de válvulas neumáticas de apertura y cierre del agua y el vapor.

Análisis de Productividad

Para analizar este indicador utilizamos la ecuación (2.22), con la cual se calcula el valor de productividad. Los datos de producción diaria antes de la automatización son los siguientes:

- Tiempo real: 460 min
- Tiempo planificado: 480 min
- Prendas conformes: 212 Prendas
- Prendas procesadas: 225 Prenda

$$Productividad(\%) = Eficiencia * Eficacia * 100\%$$

$$Productividad (\%) = \frac{Tiempo\ real}{Tiempo\ planificado} * \frac{Prendas\ conformes}{Prendas\ procesadas} * 100$$

$$Productividad (\%) = \frac{460\ min}{480\ min} * \frac{212}{225} * 100$$

$$Productividad (\%) = 90.3\%$$

Análisis e Interpretación

Según el análisis del proceso productivo antes de la automatización se obtiene una eficacia de 94.2% y la eficiencia de 95.8% que genera una productividad de 90.3%, donde se puede observar que el tiempo real de trabajo es inferior al tiempo planificado esto debido a

varios aspectos que se deben corregir durante cada proceso y cada parada de máquina, logrando así tener la producción de 3 lotes y un aproximado de prendas conformes de 212 de un total de 225 procesadas, ya que las variaciones por ser un proceso manual afectan directamente a la producción.

Los datos obtenidos después de la automatización son los siguientes:

- Tiempo real: 480 min
- Tiempo planificado: 480 min
- Prendas conformes: 290 Prendas
- Prendas procesadas: 300 Prendas

$$Productividad(\%) = Eficiencia * Eficacia * 100$$

$$Productividad (\%) = \frac{Tiempo\ real}{Tiempo\ planificado} * \frac{Prendas\ conformes}{Prendas\ procesadas} * 100$$

$$Productividad (\%) = \frac{480\ min}{480\ min} * \frac{290}{300} * 100$$

$$Productividad (\%) = 96.6$$

Análisis e Interpretación

De acuerdo al análisis realizado después de la automatización se puede observar que la eficacia llega a 96.6% y la eficiencia a 100% generando una productividad de 96.6%, pues bajo las condiciones adecuadas y sin paradas de máquina se tiene un tiempo productivo ideal, además se pudo evidenciar el incremento de una producción más al anterior es decir 4 lotes al día con un aproximado de 120 min cada una, por consecuencia las prendas procesadas llegan a ser 300, sin embargo en estas se consideran varios aspectos externos por la cual la producción no llega a ser al 100% teniendo un error mínimo en prendas inconformes.

Análisis Financiero

En la Tabla 39 se detalla los costos de los equipos, materiales y mano de obra invertidos en la automatización.

Tabla 39

Costo del proyecto

Tipo	Detalle	Costo
Materiales	PLC Logo	210
	Fuente de poder LOGO! Power	118
	Módulo expansión Logo AM2 RTD	298
	RTD + Termopozo	120
	Sensor de nivel	30
	Pantalla Logo TDE	225
	Válvulas solenoide neumático	105
	Bloque de válvulas neumáticas	80
	Caja de acero inoxidable	220
	Insumos	200
Mano de Obra	Cableado	165
	Programación	270
Total		2041

El costo final de este proyecto tiene un costo de \$2041 dólares americanos. El monto de los materiales fue cubierto en su totalidad por parte de la empresa Prolavtex.

Flujo de caja

El flujo de caja representa los ingresos y egresos generados por la máquina automatizada. Respecto a los ingresos se toma en consideración la utilidad de cada prenda procesada; mientras que en los egresos se registran los costos de las prendas reprocesadas,

los consumos relacionados a agua, diésel y servicio eléctrico, estos consumos son prorrateados para cada máquina respecto a los totales presentados en las Figuras 56, 57 y 58. De igual manera se considera los costos respecto al mantenimiento de la máquina, los cuales se detallan en la Tabla 40.

Tabla 40

Mantenimiento de la máquina

Período	Detalle
Mensual	<ul style="list-style-type: none"> • Engrasado de chumaceras • Inspecciones a los sensores • Limpieza de tolvas
Semestral	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de empaques • Revisión de bandas • Revisión del cableado • Revisión instrumentos electrónicos
Anual	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión y cambio de chavetas del motor • Arreglo de barras de desfogues • Cambio de termopozo (cada 2 años) • Revisión de tubería y parte neumática

Igualmente, estos costos fueron distribuidos equitativamente para los 12 meses del año, en el caso del termopozo se considera el valor del 50% de su costo total. Todos estos costos antes mencionados son presentados en la Tabla 41.

Tabla 41*Flujo de caja*

Concepto	MES												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión	-2041												
Ingresos													
- Prendas procesadas		1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Egresos													
- Prendas reprocesadas		174.6	174.6	174.6	174.6	174.6	174.6	174.6	174.6	174.6	174.6	174.6	174.6
- Mantenimiento		65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
- Agua		160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
- Diesel		350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
- Electricidad		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Flujo de caja neto		380.4	380.4	380.4	380.4	380.4	380.4	380.4	380.4	380.4	380.4	380.4	380.4
Flujo de caja acumulado	-2041	-1660.6	-1280.2	-899.7	-519.3	-138.9	241.5	621.9	1002.4	1382.8	1763.2	2143.6	2524.0

Análisis

Se observa que la automatización tiene un valor de \$2041, para el cual se estima un período de 12 meses que corresponde a un año. Durante estos meses se ha considerado los costos de mantenimiento de la máquina que se realizan mensual, semestral y anualmente.

Interpretación

Podemos deducir que se obtiene un valor de \$380.4 por concepto de utilidad para la empresa respecto a la máquina automatizada, a más de ello se puede observar que la inversión empieza a generar utilidad desde el sexto mes desde su puesta en marcha, con lo cual se obtiene una rentabilidad de \$2524 durante su primer año.

Producto Final

En la Tabla 42 se muestra el resultado de los procesos de teñido reactivo con la máquina automatizada funcionando en colores intensos, pasteles y bajos.

Tabla 42

Producto Final

Fotografía	Descripción
	<p>Color: Intenso.</p> <p>Observaciones: El proceso cumple con los estándares del cliente, mejorando el tiempo de producción.</p>
	<p>Color: Pastel.</p> <p>Observaciones: Tono limpio sin ninguna mancha y no maltratada la fibra textil.</p>
	<p>Color: Bajo.</p> <p>Observaciones: Limpieza en la tintura, sin deposiciones de color en costuras.</p>
	<p>Color: Bajo.</p> <p>Observaciones: Limpieza en la fibra textil, suavidad de la fibra textil.</p>

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Los parámetros que garantiza la calidad del proceso vienen dados por las exigencias del cliente las cuales se basa en tintura homogénea, fibra textil no maltratada, suavidad al tacto con consistencia semi - rígida de la prenda y tiempos de entrega, para ello se identifica las siguientes variables con sus respectivos rangos: temperatura de 25 a 60°C nivel de líquido de 0 a 600 l con tiempos de van desde 5 a 45 min por cada subproceso.
- La automatización fue diseñada respecto a los parámetros establecidos para las variables mencionadas, con un costo de implementación y desarrollo dentro de las posibilidades económicos de la empresa, tomando en cuenta la disponibilidad de los equipos e instrumentos del sector, con el fin de que se pueda realizar la recuperación de la inversión de una manera rápida y que exista stock disponible cuando se requiera algún cambio.
- En la implementación de la automatización del proceso se consideró la familiarización del HMI con el operario, con el fin de que pueda tener una mejor experiencia al momento de cumplir con los requerimientos de la empresa puesto que pasa a ser un supervisor de la maquinaria con reducción de esfuerzos y con la observación de las variables de interés.
- El porcentaje de prendas reprocesadas en la máquina se redujo en un 0.4% llegando a un valor de 1.4% puesto que se tiene control sobre las variables antes mencionada, no se puede llegar a un porcentaje menor puesto que no solo depende de la empresa, ya que no existe un control dentro de las fábricas de los clientes de PROLAVTEX, a más de ello por la calidad del agua que no ingresa en las mismas condiciones todos los días de producción.

- En los errores que se observaron en las variables temperatura, volumen y tiempo respecto a los valores recomendados, se registró un error de 0 respecto al tiempo puesto que ahora se establece un flujo de trabajo que debe seguir el operador. En la variable temperatura se obtuvo una reducción de 1.6 °C a 1.3 °C y en volumen una disminución de 15.8 l a 5.8 l, puesto que el tipo de control ON-OFF por el tipo de válvulas neumáticas digitaliza las acciones del controlador.
- Los datos obtenidos de la automatización del proceso, determina que la máquina tiene una eficiencia de 100% y una eficacia del 96.6%, al relacionar estos valores se manifestó que la productividad de la máquina aumentó a 96.6% respecto al 90.3% que se presentaba antes de la automatización.
- El control realizado dentro de la máquina con capacidad de 60 Kg permite que se mejore la productividad en un 6.3%, ya que se elimina tiempos muertos y la máquina trabaja con tiempos ya establecidos, mejorando así la eficiencia de la máquina en un 4.1%, además que se eliminó varias fallas causadas por las variables que intervienen en el proceso, mejorando la eficacia en un 2.4%, todo esto afecta positivamente a la economía, a la calidad y al servicio entregado por la empresa puesto que se disminuyó los reprocesos que hacían que PROLAVTEX tenga una pérdida económica considerable.
- La automatización basada en los requerimientos de la empresa PROLAVTEX cumple con el proceso de teñido reactivo sobre tejido textil con una inversión de \$2041 que mediante un análisis de flujo de caja que considera los mantenimientos periódicos de la máquina empieza a ser rentable desde el sexto mes de su puesta en marcha, obteniendo una rentabilidad de \$2524 durante su primer año.

Recomendaciones

- Para la implementación de la automatización es necesario conocer el proceso de producción de la planta, se debe considerar el flujo de trabajo, variables que intervienen y la experiencia del operario.
- Revisar el presupuesto de la empresa privada con el fin de escoger los actuadores, sensores y controlador que mejor se adapte a sus necesidades y economía, con el fin de proporcionar una ganancia a corto plazo a dicha institución.
- Se recomienda utilizar elementos industriales para el proceso de automatización, ya que poseen normas de seguridad que permitirán la protección a elementos más delicados de la conexión porque están expuesto a ambientes donde la corrosión es muy alta.
- Antes de la manipulación de la máquina y de sus componentes es necesario conocer el funcionamiento de la misma, con el objetivo de conocer todas las funciones que esta posee y evitar un mal funcionamiento o daños a la maquinaria o a los lotes de producción.
- Al realizar la conexión entre el LOGO siemens, la TDE siemens y el ordenador verificar que las IP asignadas no se repitan y estén dentro del mismo rango de IP puesto que al no estar bien configuradas no se podrá realizar el enlace.

Trabajos Futuros

- Automatización de la dosificación de los productos químicos mediante bombas que van hacia la tolva de ingreso al tambor de la máquina, para disminuir el consumo de sustancias que se necesitan para el proceso de tintura.
- Algoritmos de inteligencia artificial para establecer los valores óptimos de tiempo y temperatura de acuerdo al tipo de tela que ingresa al proceso para disminuir el consumo de recursos dentro del proceso de tintura.
- Estudio de la máquina lavadora vertical mediante el modelo matemático y simulaciones de diferentes controladores, para verificar la factibilidad de la implementación de estos con tiempos de recuperación de la inversión.

Bibliografía

- A. Bes-Piá, A. I.-C.-F.-D. (2009). Comparison of thee NF membranes for the reuse of secondary textile effluents. *Desalination* 241, 100.
- C. Allègre, P. M. (2004). Savings and re-use of salts and water present in dye house effluents. *Desalination* 162, 100.
- C. Artero, M. N. (2012). PH Sensor. *Instrumental Viewpoint / 13 / Winter*, 5.
- Endress+Hauser. (2019). Medición del pH en procesos industriales. *Guía técnica y de selección para distintas*, 56.
- Erazo, A. (2012). *Diseño y Aplicación de Automatización a una Máquina Industrial Lavadora de Jeans*. Quito: Facultad de Ingeniería Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército.
- Fernando Morilla, J. G. (2007). Control Multivariable por Desacoplo. *Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 17.
- Lab-Volt. (2004). *FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE PROCESOS USANDO EL PROGRAMA LVPROSIM*. Canada.
- LLAMUCA, D. F. (2009). *AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA LAVADORA INDUSTRIAL*. QUITO.
- Moreno, E. (2001). *Automatización de Procesos Industriales*. Valencia : Alfaomega.
- NUÑEZ, M. V. (2021). *TECNOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE JEANS*. AMBATO.
- Ogata, K. (2002). *Ingeniería de control Moderna*. México: Pearson.
- Pasaye, J. J. (2010). Laboratorio de Control Analógico II. *UMSNH-FIE*, 5.
- PEREZ RODRIGUEZ, C. M. (2018). *DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA LAVADORA INDUSTRIAL*. PERÚ.

- Pérez, M. (Febrero de 2011). *Sistemas de Lógica Difusa*. Obtenido de <http://www.control-systemsprinciples.co.uk/whitepapers/spanishwp/13fuzzylogicSP>
- Ponsa, P., & Granollers, A. (2009). *Diseño y automatización Industrial*. Cataluña - España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Sánchez, V., & Pizarro, D. (2010). Diagnóstico del nivel de Automatización de las pequeñas y medianas Industrias de la ciudad de Cuenca. *Ingenius. Revisata de Ciencia y Tecnología*, (4), 44-56.
- Sanchis, R., Romero, J., & Ariño, C. (2010). *Automatización Industrial*. Universidad Juame.
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador. (2017). *Transformación de la Matriz Productiva*.
- Sira Ramírez, H., Luviano Juárez, A., & Cortés Romero, J. (2008). Control lineal robusto de sistemas no lineales diferencialmente planos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 28.
- Villacis, J., & Pazmiño, M. (2018). Contribucion de la Tecnología a la Productividades de las PYMES de la Industria Textil en Ecuador. *Cuaderno de economía*, 41(115), 140-150.

Anexos