



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

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 MAGISTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN MENCIÓN REDES INDUSTRIALES

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

AUTORES: PÉREZ PINTADO, JOSÉ ANDRÉS

PROAÑO ALOMALIZA, LUIS ENRIQUE

DIRECTOR: ING. RIVAS LALALEO, DAVID RAIMUNDO PH.D.

LATACUNGA - 2023



# Resumen

- El control de procesos industriales mediante la automatización se ha convertido en uno de los principales objetivos de las pequeñas, medianas y grandes empresas con el fin de realizar una mejora a sus productos de una manera eficiente y eficaz con el menor consumo de recursos.
- En la industria textil nacional aún existe una decadencia tecnológica respecto a los procesos de tintura puesto que actualmente las máquinas utilizadas dentro de estos procesos funcionan manualmente con lógica cableada dependiendo totalmente de la experticia de los maquinistas.
- La presente investigación describe la automatización del proceso de teñido reactivo en la máquina lavadora vertical industrial con capacidad de 60 Kg, basado en las condiciones de lavado establecidas por la empresa PROLAVTEX. Con un respectivo análisis respecto a las variables que intervienen en el proceso se realiza la selección de equipos que cumplan los estándares del proceso para su posterior implementación, calibración y validación.

# 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 subprocessos, 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.

# Objetivos

## 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

- 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 descrude, fijado, suavizado, siliconado, etc.

# 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.

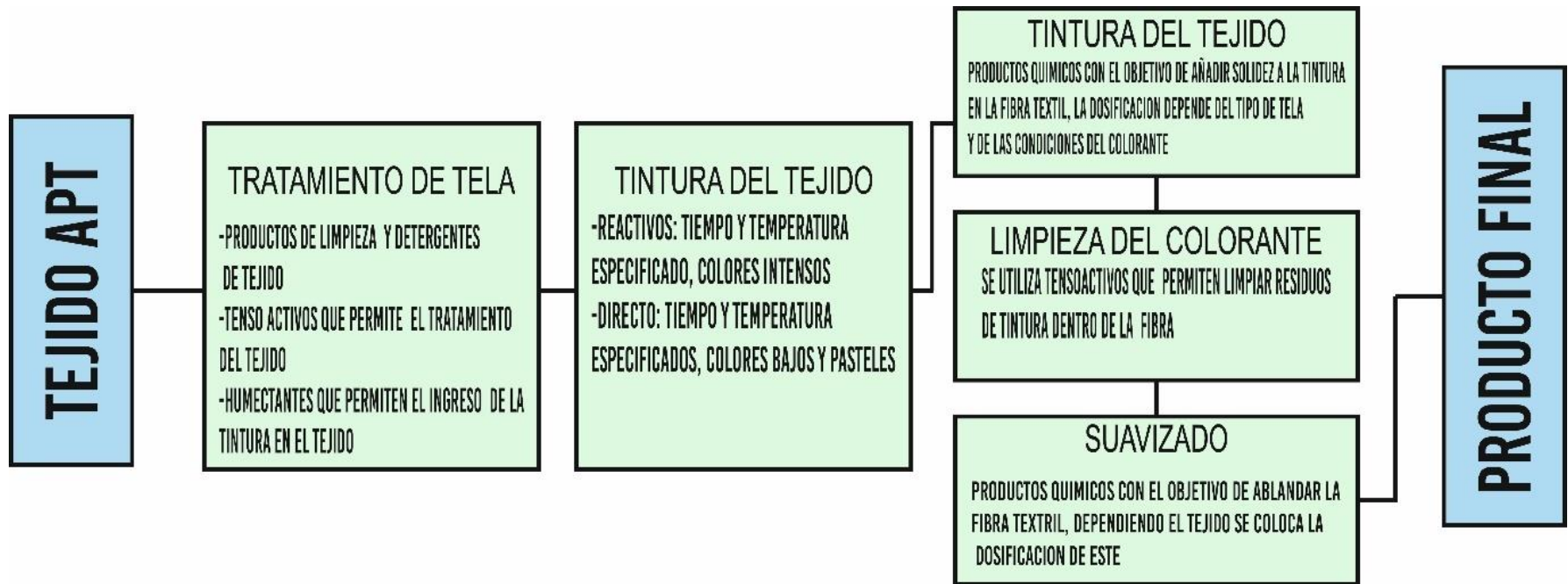
Clasificación según su Química	Clasificación según su uso o Tintórea
Antraquinónicos	Ácidos
Azoicos	Básicos
Derivados de Ftalocianina	Dispersos
Heterocíclicos Indigoides	Reactivos
Estilbénicos	Directos
Polimetínicos	Sulfurosos
Trifenilmetánicos	Pigmentos
Sulfurosos	Azoicos sobre fibra

## 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.

Tipo	Características
1	Colorantes (fríos) baja temperatura, alta reactividad y media sustentividad. Tiñen a un 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.

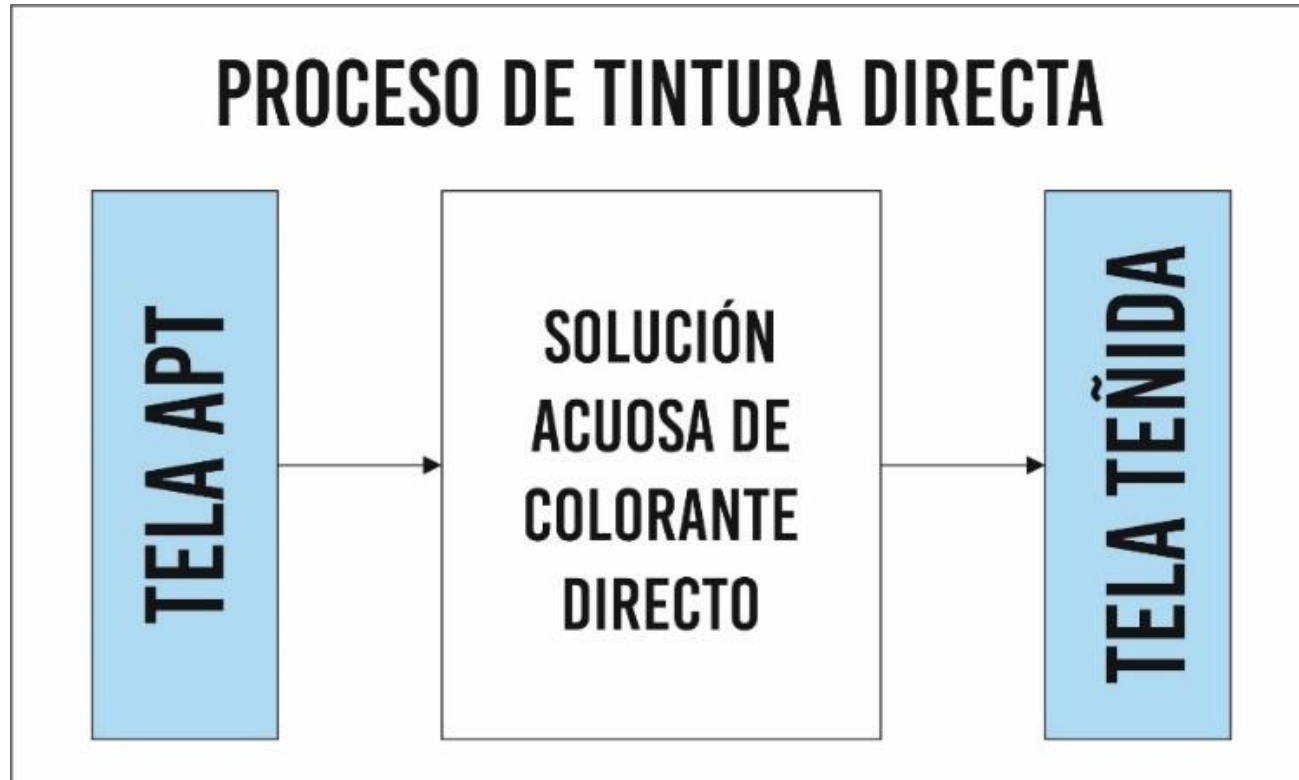
# Proceso de tintura reactiva





# Parámetros de verificación Pretratamiento

Parámetros	Descripción
pH de la tela	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.
Grado de blanco del sustrato	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 de un 98%.
Residual de peróxido	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 tintura, 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).
Hidrofilidad de la tela, hilo y prenda	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 tintura defectuosa. El método de validación este parámetro consiste en dosificar una gota de agua sobre la fibra textil pretratado secado, 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 teñido reactivo.
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.

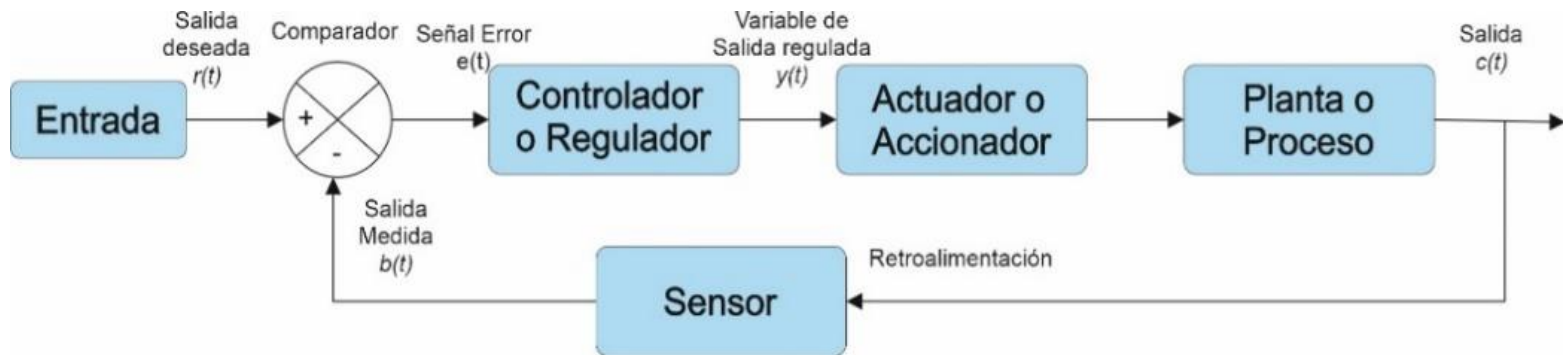


# Recomendaciones Generales

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.
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 las misma.
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 los mismos, ya que esto evita tiempos muertos que pudieran presentarse debido al lavado de la máquina o recipiente de tintura.
Proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El baño acorde con la relación del baño escogido, Colorante reactivo o directo, Fibra textil.</li> <li>• Adicionar cada uno de los auxiliares de acuerdo con las indicaciones que se presentan más adelante para cada proceso.</li> </ul>
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 las mismas.
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.

# 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



El objetivo del control es recibir 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.

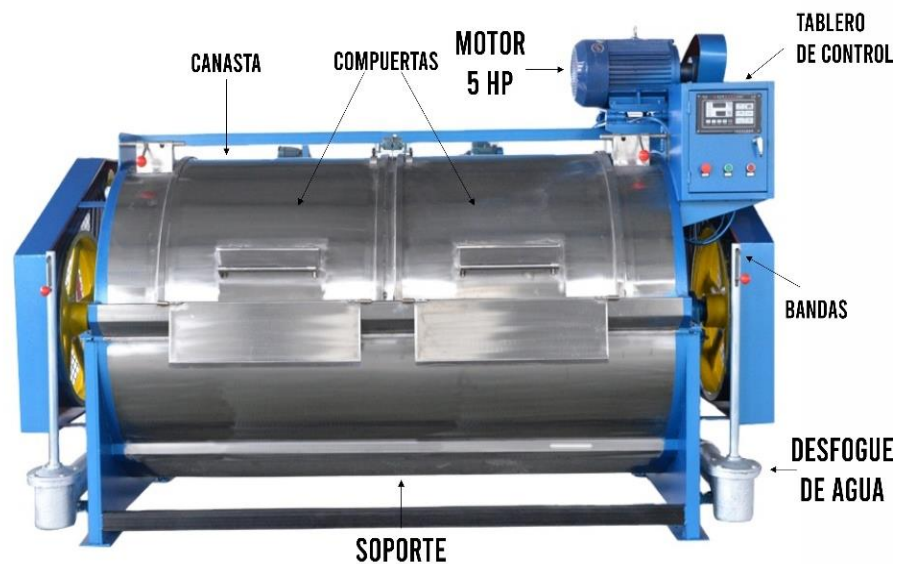
1. ***Control ON-OFF***
2. ***Control ON-OFF con Histéresis***
3. ***Control PID***
4. ***Control Difuso***

# 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.
- 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.

# Tipos de lavadoras industriales

- **Lavadora horizontal**

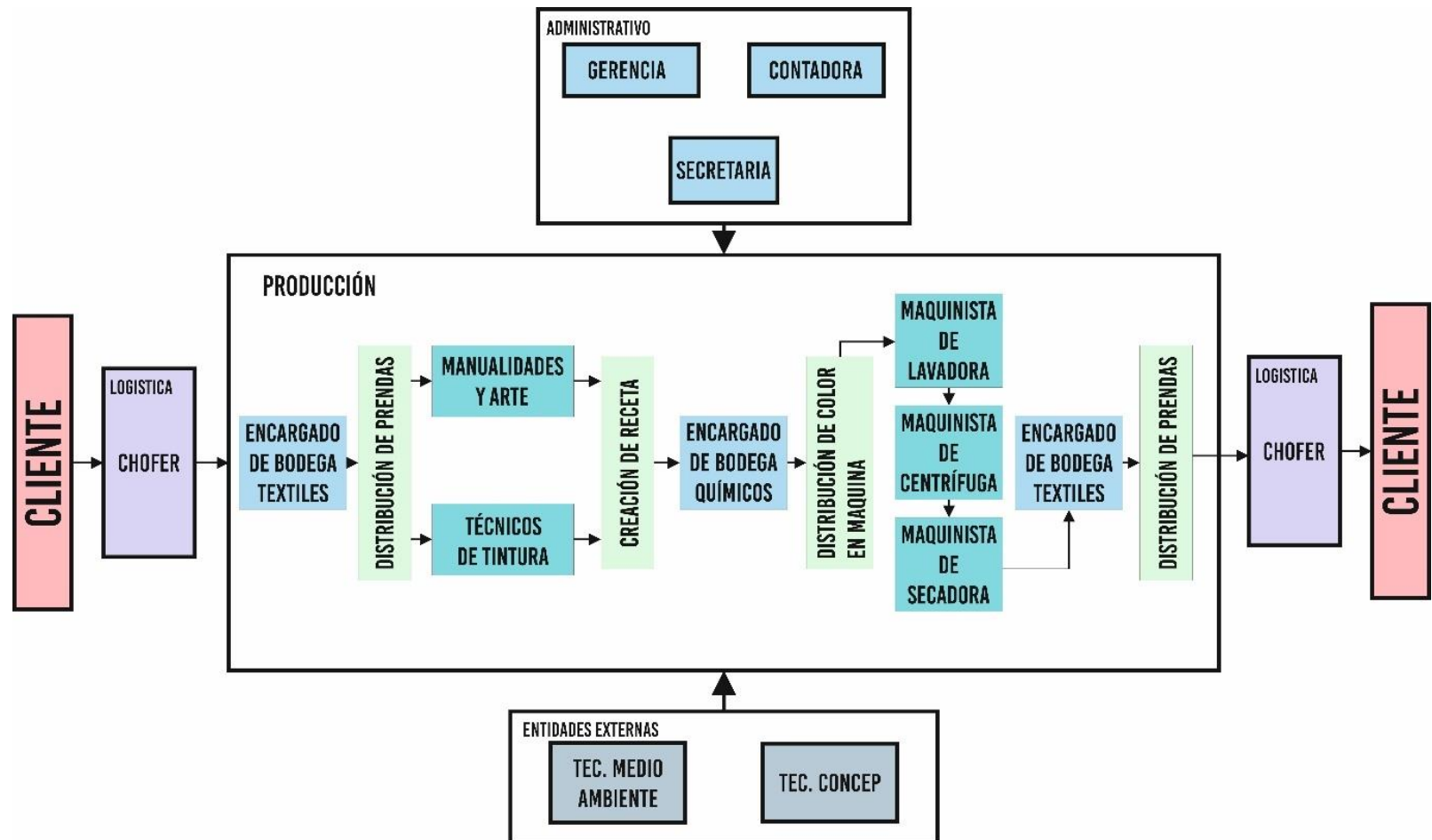


# Lavadora Vertical





# Organigrama



# Maquinaria

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







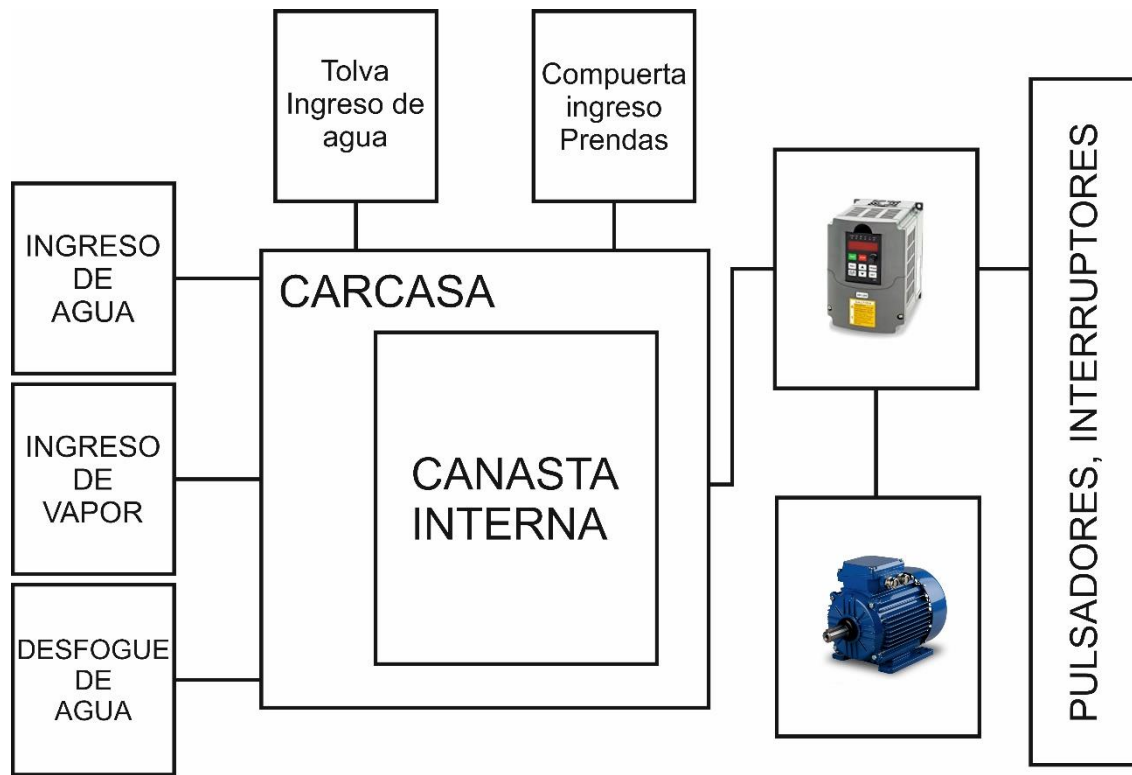
# Bodegas de producto textil



# Bodega de químicos



# Descripción de la máquina

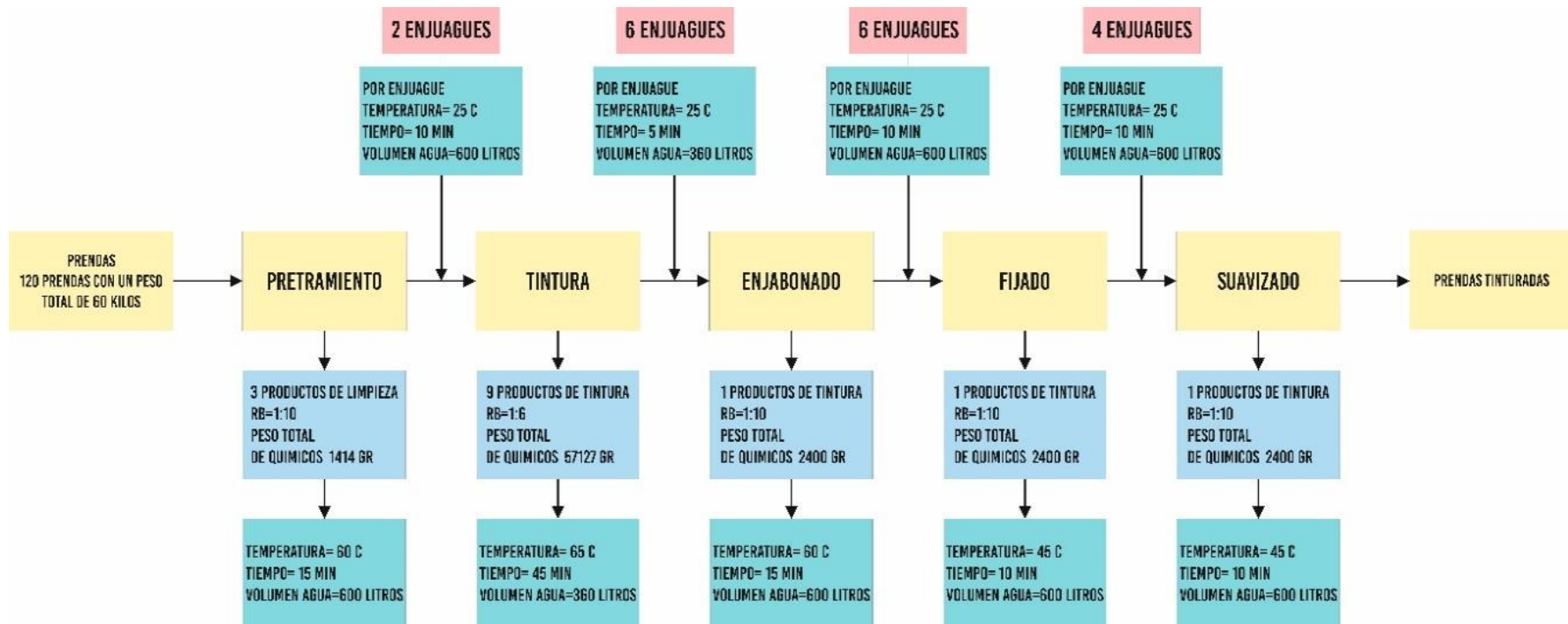


## ***Variables a controlar en la máquina***

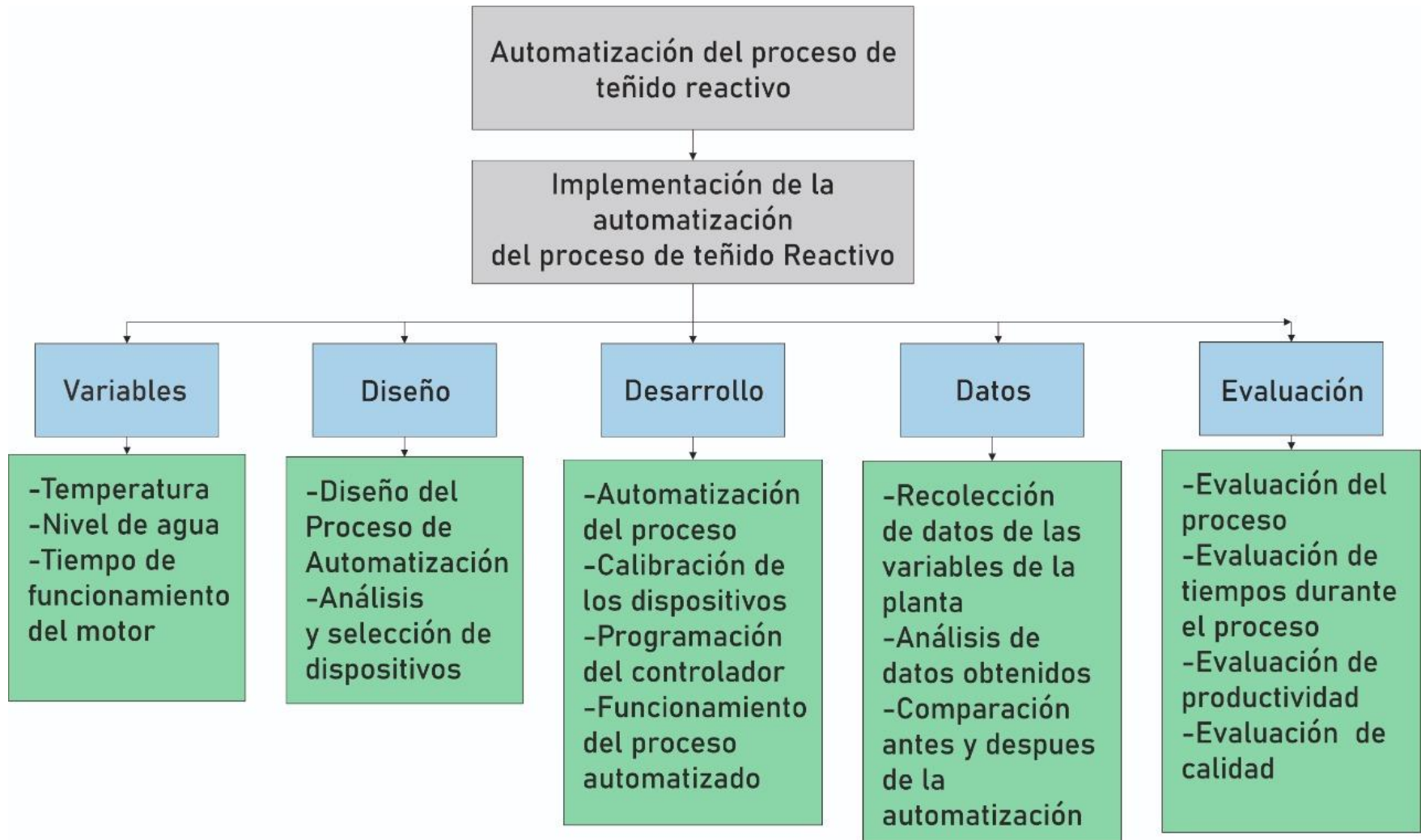
<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
<b>Temperatura</b>	Rangos del baño dentro de 30 °C hasta 80 °C, con la finalidad de que los auxiliares y tinturas se encuentren en condiciones óptimas para trabajar
<b>Nivel de Agua</b>	Se los especifica de 18 m <sup>3</sup> hasta 60 m <sup>3</sup> , para mantener las relaciones de baño y se cumplan con las ecuaciones descritas en el capítulo anterior.
<b>Tiempo</b>	En el rango de 2 min hasta 50 min dependiendo el proceso, afecta al agotamiento de los químicos
<b>pH</b>	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



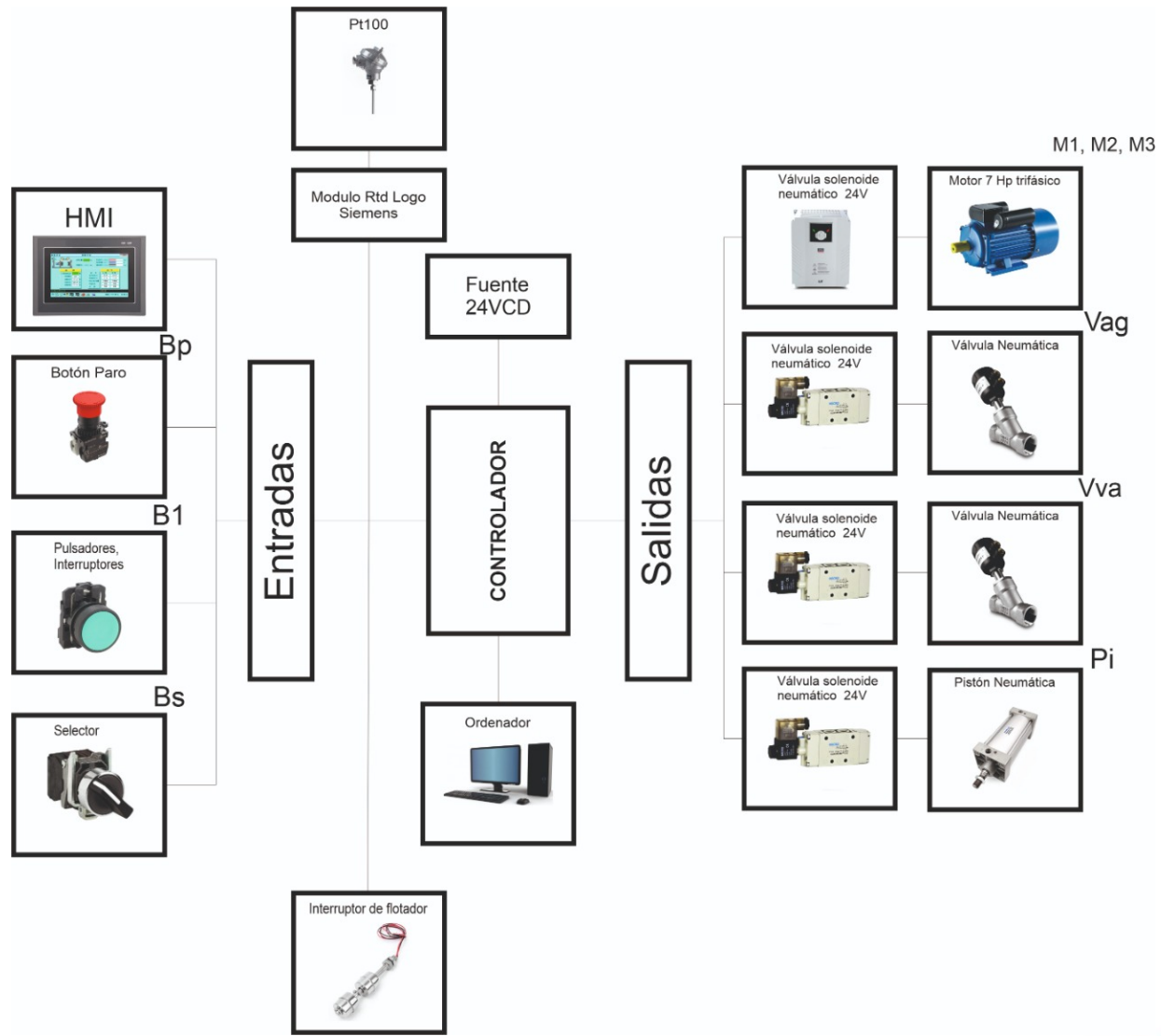
# Proceso



# Esquema del proceso para automatizar



# Variables del controlador

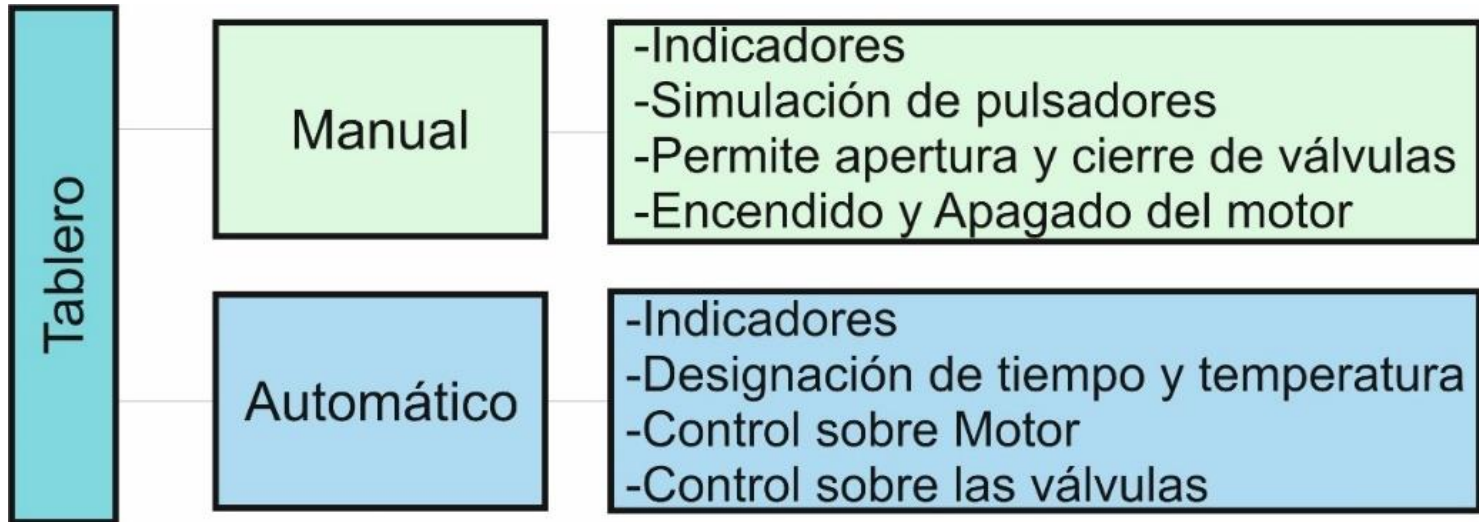


# Señales de Entrada

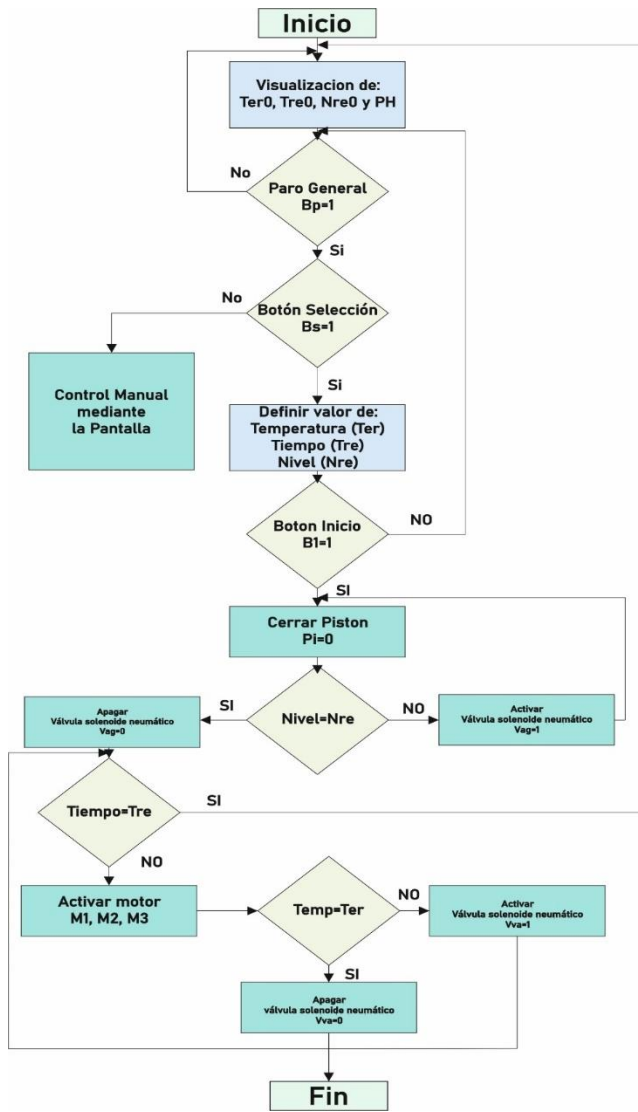
TAG	Tipo Equipo	Servicio o Función	Señal	Variable
BP	Botón	Paro de emergencia	RELE+24V	
B1	Botón	Inicio del proceso	RELE+24V	
Bs	Switch	Manual/Automático	RELE+24V	
Nre	Switch	Alto Nivel de Agua	RELE+24V	Nivel
Pt100	Transmisor	Temperatura	DATA	Temperatura

## Señales de Salida

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



# Diagrama

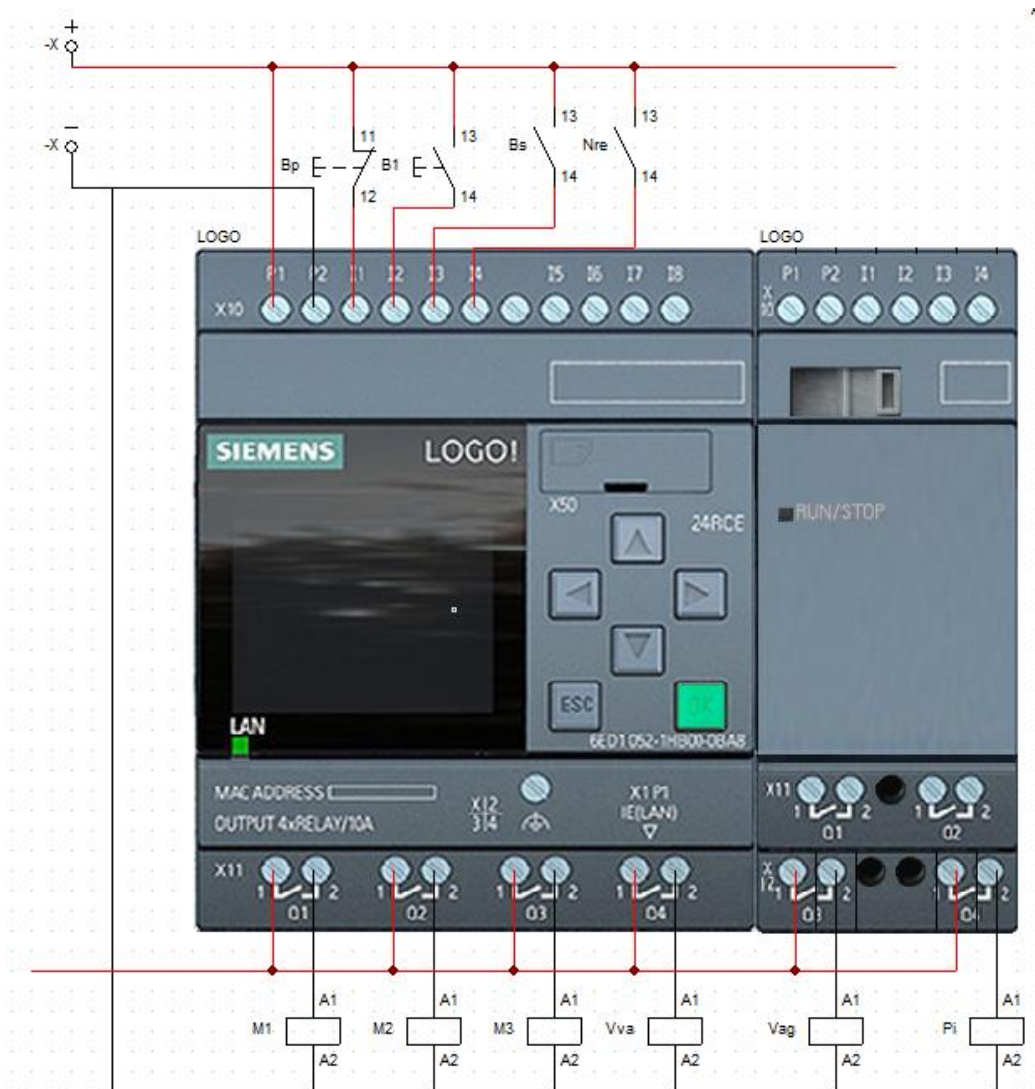


## Alarmas

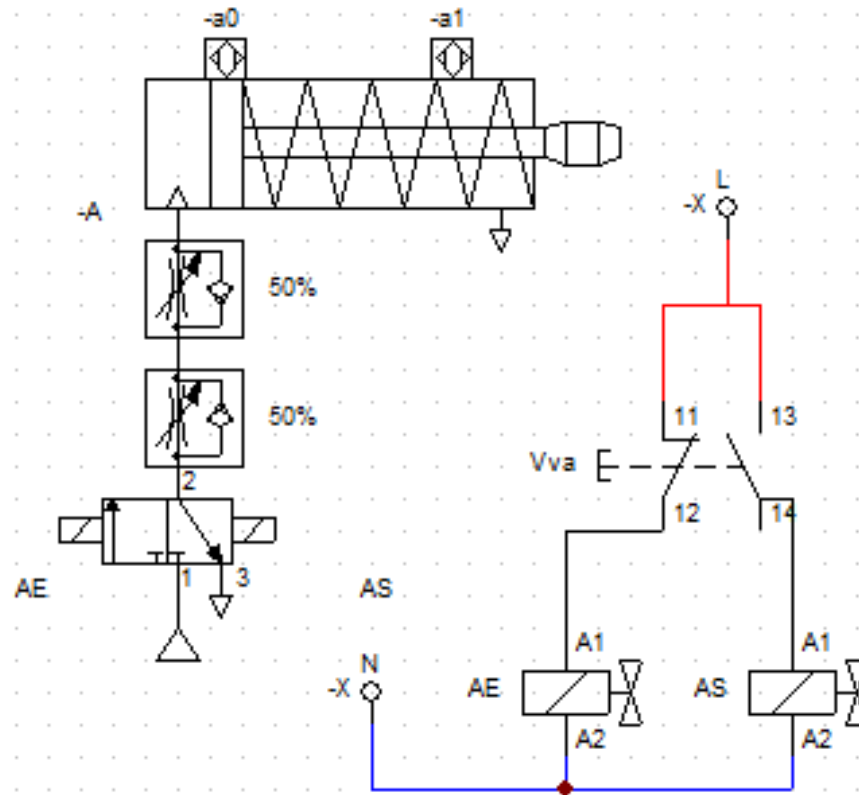
Se establece una alarma en estado alto respecto al nivel de agua, puesto que según lo descrito en los anteriores capítulos la cantidad de agua debe ser específica para las soluciones mezcladas en las misma. Esta alarma se visualiza en la transición del cambio de color del display en la pantalla HMI.



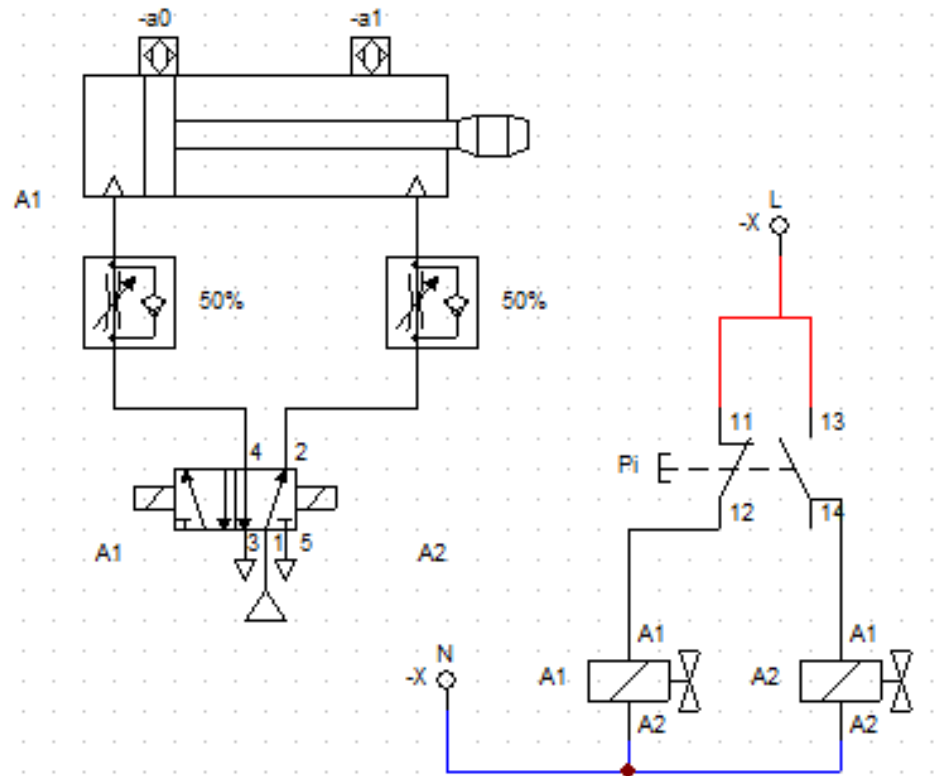
# Diagrama eléctrico y de Conexión



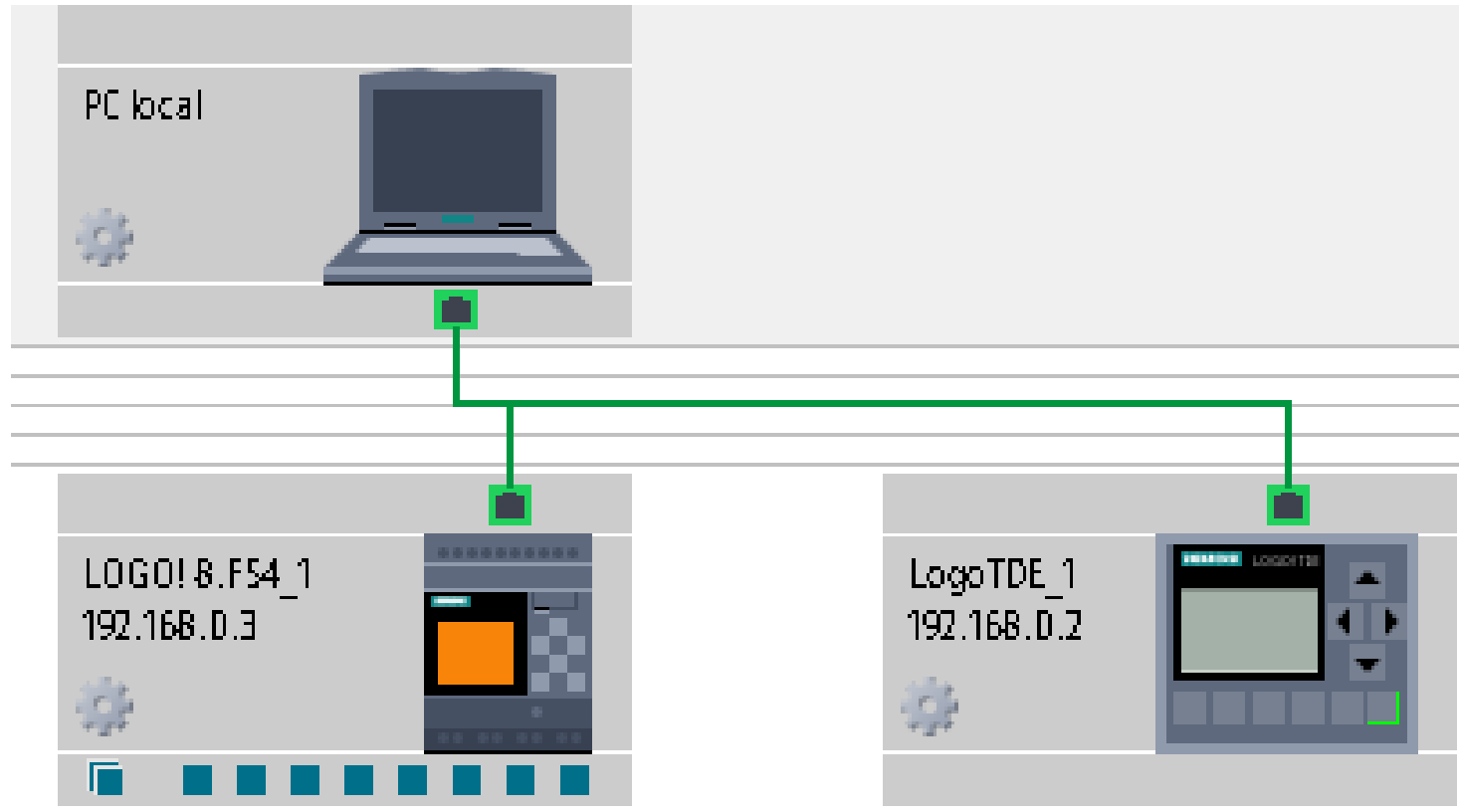
# Diagrama de conexión de la válvula de agua y vapor



# Diagrama de conexión del pistón neumático de desfogue



# Comunicación



# Sensores

- 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.

- 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



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

# Resultados

- Datos de 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
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

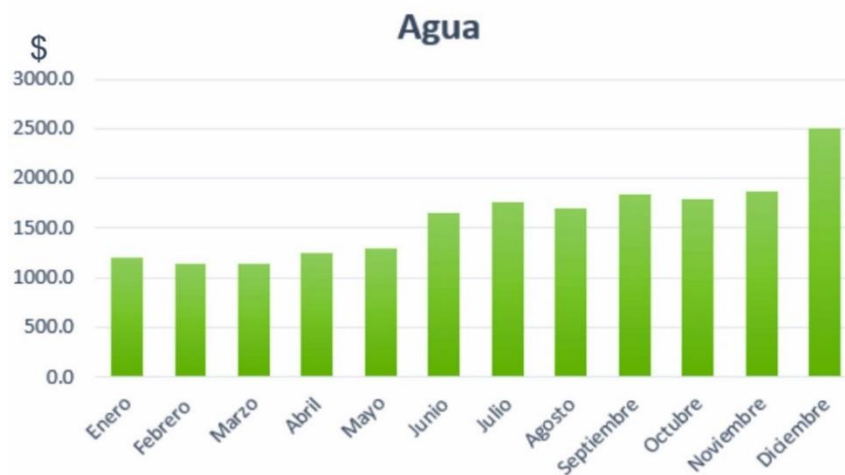
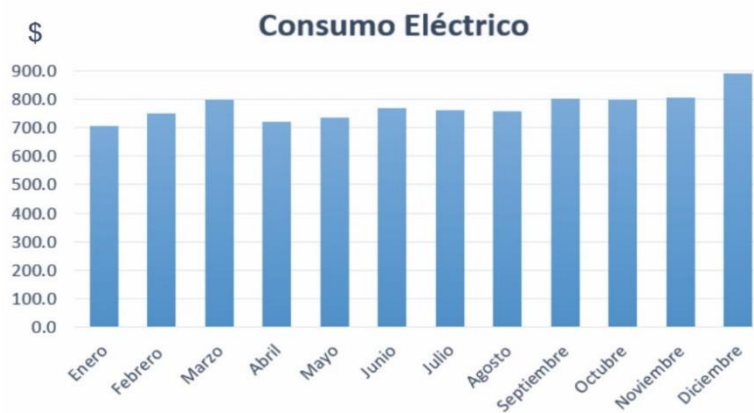
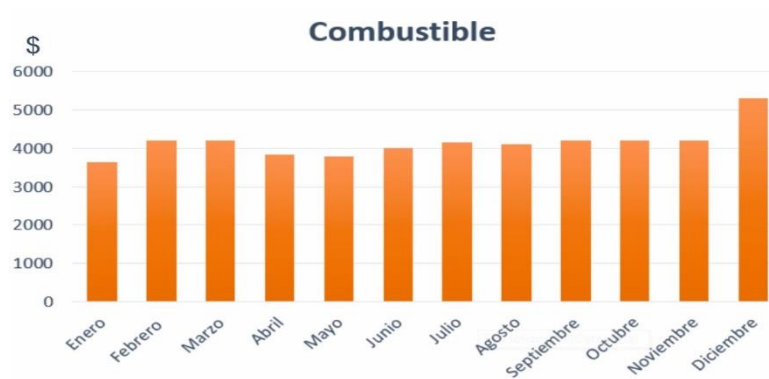
# Resultados

- *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



# Resultado



# 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.

# Conclusiones

- 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.