 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PARA MAQUINA  
AUTOCLAVE DE TEÑIDO DE TELA**

Julián Andrés Vargas Pinillos  
Sebastián Santamaría Castañeda

Ingeniería Mecatrónica

Director del trabajo de grado  
Jhon Alexander Isaza Hurtado

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**28/10/2019**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

El presente trabajo de grado tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de control automático del proceso de teñido de tela de la empresa Tintorex S.A. La automatización del proceso concibe el diseño de un lazo de control cerrado con estrategia PID en una maquina autoclave. Dicho sistema de control permite condiciones de seguridad y precisión en el proceso de teñido de tela, de tal manera que se pueda mejorar su calidad en el producto terminado.

Los problemas de hoy en día que se presenta en la industria textil colombiana son los rechazos de baja calidad de los clientes que adquieren los productos, esto se debe a una mala estandarización de los procesos y en ocasiones a los sistemas de control que implementan algunas empresas, tal como lo hace una parte Tintorex. Su proceso y la manipulación de variables como el tiempo y temperatura se realiza de modo manual. Teniendo en cuenta que la etapa de teñido representa el paso más sensible y crítico del proceso textil que realiza una autoclave, y que en este caso era controlado por sistemas electrónicos que iban desde tarjetas programables, relé, hasta PLCs y todos estos manipulados y supervisados por los técnicos operarios y en ocasiones dejados a experticia de ellos.

El propósito de este proyecto es desarrollar mejoras en la etapa de teñido mediante la propuesta planteada por la empresa Prosyscontrol SAS, la cual consiste en la implementación de un sistema de control y supervisión para la maquina autoclave, que por medio del uso de recetas de teñido y parámetros de configuración pueda representar mejoras significativas en el proceso productivo de la empresa y en la calidad final. Adicionalmente también obtener una mayor precisión de control en las variables físicas por medio del PLC (computador industrial) de marca SEDO TREEPOINT.

Se estima que para el año 2020 el grado de automatización en el sector empresarial colombiano incrementaría en 35%, 45% lo dice la revista vanguardia de la Universidad Santo Tomas publicada en 2 de diciembre del 1018; en la cual el país se encuentra

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

actualmente en un proceso de preparación para incorporar la automatización industrial en los diferentes sectores, creando sistemas más eficientes para proyectar a corto plazo, una serie de beneficios para las empresas, con el fin de optimizar sus procesos productivos y mejorar las capacidades del recurso humano.

El sistema de control que se plantea desde la parte de diseño, fue un sistema de control PI convencional, lo cual con este método podemos garantizar una mejor estabilidad y precisión del sistema en estado estable. Con el control de temperatura en lazo cerrado mejoramos continuamente los problemas de estandarización de los colores de las telas e hilos, con el fin de poder sacar más lotes con las mismas características sin necesidad de volver a iniciar un nuevo proceso o una nueva plaqueta de color.

Se implementó físicamente lo que se propone en la presente tesis junto con la programación del control automático, logrando así que el control proporcional se estabilizara en 58 segundos en estado estable y así poder calibrar los instrumentos de control de modo manual como lo son el transductor de presión I/P que controla el elemento final en este caso la temperatura y seguidamente el control P/I que nos ayuda a identificar la presión interna de la autoclave y finalmente la Pt100 estándar que nos ayuda a medir la temperatura en tiempo real.

La lógica de programación abarca a todos los parámetros físicos, tecnológicos, mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos que presenten los equipos e instrumentación en el campo, es decir, aquellas que pueden ser registradas y/o controladas mediante instrumentación u otros. Se evita el tratado de variables no controladas, las cuales no podrán ser consideradas durante la optimización.

**Palabras clave:** calibración de transmisores, interface de comunicación, sistema de control por recetas, PLC, temperatura, lazo cerrado, control proporcional, PID, autoclave, teñido, estado estable.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

El siguiente trabajo de grado está dedicado a Dios, fuente de todo bien y salud que nos brinda las maravillas del universo para que sean aprovechadas y disfrutadas. Sin embargo, en esta ocasión le hacemos una mención especial al Ingeniero Jorge Beltrán que nos brindó de principio a fin la colaboración con el diseño inicial de la automatización de la autoclave. Además, nos resolvió varios inconvenientes en la parte de comunicación con la pantalla utilizada SEDO 1800. Seguidamente agradecemos a los docentes que nos brindaron el conocimiento para desarrollarnos profesionalmente y en especial a nuestro asesor director Jhon Alexander Isaza Hurtado por la asesoría brindada durante todo el desarrollo del trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Mecatrónicas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

- SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition (Sistema de supervisión y adquisición de datos).
- DATALOG: Datos almacenados en una base de datos en Excel y que se pueden extraer en una memoria USB o por comunicación.
- USB: Universal, serial, bus.
- OPC: OLE for Process Control.
- OLE: Incrustación y enlazado de objetos.
- PID: Control Proporcional Integral Derivativo.
- P: Control Proporcional.
- PD: Control Proporcional Derivativo.
- PI: Control Proporcional Integral.
- HMI: Human Machine Interface (Interfaz Hombre Máquina).
- PLC: Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable).
- P&ID: Piping and Instruments Diagram (Diagrama de Tuberías e instrumentos) y Process and Instrumentation Diagram (Diagrama de proceso e instrumentación).
- I/P: Transductor de corriente a presión electrónico.
- P/I: Transductor presión a corriente.
- ISA: Bloque PID configurable del PLC según norma.
- CVBias: Valor fijo determinado por el usuario.
- CV: Variable de control.
- PV: Variable de proceso.
- SP: Set point.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	7
1.1 Generalidades.....	7
1.2 OBJETIVOS .....	8
1.2.1 General .....	8
1.2.2 Específicos.....	8
1.3. Organización de la tesis.....	10
2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TEÑIDO DE LA MAQUINA AUTOCLAVE DE LA EMPRESA TINTOREX .....	11
2.1. Descripción del proceso de teñido de la empresa Tintorex.....	12
2.2 Selección de instrumentos .....	16
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA AUTOCLAVE DE TEÑIDO TELA .....	22
3.1. Diagrama de instrumentación y tubería (P&ID) .....	29
3.2. Diseño de los planos eléctricos de potencia y de control del gabinete.....	36
3.3. Sintonización del controlador PID .....	37
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	54
REFERENCIAS.....	56

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1. INTRODUCCIÓN

---

### 1.1 Generalidades

En este documento se consolida el diseño e implementación de un sistema de control automático para una maquina autoclave de teñido tela e hilo, con el fin de garantizar la temperatura y los tiempos uniformes al interior de ella y la de los productos sometidos a la misma. El proyecto se planteó como un proceso de desarrollo tecnológico, específicamente en el aérea de mejoramiento de un equipo que para este caso sería la autoclave de la empresa Tintorex; Una empresa que está en búsqueda de maneras más eficientes poder disminuir los gastos de producción e incrementar la calidad y el número de productos manufacturados, pensando también en el cuidado del medio ambiente.

La inversión en proyectos de mejoramiento del control automático representa una solución viable, que puede dar una mejor adaptación y cubrir todas las áreas propias de la autoclave. Se podrá re utilizar la maquinaria existente y cumplir con los requerimientos deseados del proceso. Este proyecto pretende tener similar eficacia que la adquisición de nueva maquinaria y equipos especializados de mayor costo.

El proceso de teñido de tela e hilo se realiza en la empresa Tintorex ubicada el municipio de Itagüí, allí utilizan un método de control de modo manual que requiere una mayor intervención del personal operario, lo que genera dependencia de él, y en ocasiones muchas veces a experticia del técnico, cosa que es muy susceptible al error humano al estar comprometido con el nivel de atención en el instante.

La problemática principal que se evidencia es cuando producen un lote de un color en específico y sale con una tonalidad cercana a la requerida por el cliente; pero cuando se necesita otra tonalidad igual al de antes, este ya no sale con el mismo porcentaje de error con respecto a la primera; allí es donde se pierde la estandarización del producto y aparecen los reprocesos del mismo, debido a que se debe volver a entonar de nuevo el color para que llegue al respectivo tono.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 General

Diseñar e implementar un sistema de control automático en lazo cerrado que permita condiciones de seguridad y precisión en el proceso de teñido de una máquina autoclave de la empresa Tintorex de tal manera que se mejore la calidad del producto terminado.

### 1.2.2 Específicos

- Identificar variables de entrada y salida del sistema para dimensionar los equipos y realizar el diseño del sistema.
- Levantar información de actuadores y sensores, esto con el fin de revisar todo detalladamente y si tiene algo especial para dimensionar bien los dispositivos de control del sistema.
- Identificar las funciones de la maquina en los modos de operación para garantizar que el diseño del programa este sincronizado con el proceso que se requiere.
- Realizar un diagrama de flujo para entender el funcionamiento y dar claridad al programador.
- Diseñar los planos eléctricos de potencia y de control para identificar lo que ya está instalado y asociarlo con lo que se va a implementar.
- Dimensionar el controlador y la pantalla, que cumplan con el requerimiento inicial y final.
- Repotenciar el sistema eléctrico y electrónico del proceso de teñido para mejorar el rendimiento funcional y reducir el consumo energético.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos de las variables de proceso en tiempo real, con el fin de hacerle seguimiento a las variables del proceso y el cumplimiento de la producción.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para garantizar el logro de los objetivos este trabajo fue realizado en 4 etapas. A continuación, se describen algunas de las actividades realizadas:

### **Etapas 1**

1. Identificar y realizar un diagrama de flujo las funciones del proceso de teñido donde se identifiquen los modos de operación para el control de seguridad y el lazo de control automático. Diagrama de instrumentación y tubería que describa el proceso y los instrumentos involucrados actualmente.
2. Levantar información de actuadores y sensores disponibles actualmente y los requeridos para el control de seguridad y el lazo de control automático.
3. Identificar y caracterizar las variables de entrada y salida del sistema para realizar un diseño y posteriormente dimensionar los dispositivos de control.
4. Dimensionar los dispositivos de control tanto en Hardware como en Software entre ellos, el controlador y la interface de comunicación.
5. Cotizar y comprar la instrumentación requerida según las fichas técnicas y el diseño implementado anteriormente.

### **Etapas 2**

6. Diseñar el sistema eléctrico, electrónico y de acondicionamiento de potencia para los instrumentos del proceso, de tal manera que permita el buen funcionamiento del sistema de control y con un adecuado consumo energético.
7. Diseñar los planos eléctricos de potencia y de control del gabinete de control.
8. Programar y configurar el hardware que permita el correcto funcionamiento de los sensores, actuadores y controladores... Calibración de sensores, programación variador.
9. Diseñar un sistema de supervisión y adquisición de datos para el proceso de acuerdo a las necesidades la empresa Tintorex.

### **Etapas 3**

10. Implementación del gabinete de control y verificar su correcto funcionamiento.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

11. Implementar y cargar el software final en los dispositivos de control y la interface gráfica.

12. Realizar pruebas en planta y hacer correcciones.

#### **Etapas 4**

13. Documentar proyecto y resultados. Operación y puesta en funcionamiento.

### **1.3. Organización de la tesis**

Este documento está orientado de la siguiente manera. En el Capítulo 2 se describe el diagnóstico del proceso de teñido de la maquina autoclave de la empresa Tintorex. Dicho diagnostico contiene una descripción tanto del proceso como la documentación de los instrumentos disponibles previos a la automatización realizada. Posteriormente en el Capítulo 3 se propone un sistema de control en lazo cerrado para la maquina autoclave de teñido tela. En este capítulo se realiza el rediseño del sistema eléctrico y de potencia del gabinete de control. Además, se presentan algunos de los métodos planteados para realizar la sintonización de los parámetros del controlador PID y se explica el que fue utilizado para la maquina autoclave. Finalmente, en el Capítulo 4 se presenta las evidencias de los resultados obtenidos en la implementación del sistema real. Conclusiones y trabajos futuro son presentados en el Capítulo 5.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TEÑIDO DE LA MAQUINA AUTOCLAVE DE LA EMPRESA TINTOREX

---

En este capítulo se da a conocer el diagnóstico del proceso de teñido y se expondrá algunas fallas e inconvenientes que ocurrían a la hora de ejecutar la producción en la maquina autoclave.

Para el desarrollo este proyecto se basó en varias investigaciones y experiencias de la empresa PROSYSCONTROL SAS, en la cual tiene gran trayectoria en este medio industrial, especialmente la zona textil. El objetivo de estandarizar los procesos textiles se ha vuelto de gran importancia para los proveedores, ya que han aumentado sus ventas, la productividad de calidad de su producto terminado. Con el fin de ser más competitivos como empresa a nivel nacional.

Los sistemas de fabricación automatizados están integrados por sistemas de control de supervisión que son responsables del monitoreo y de la ejecución adecuada de las máquinas de producción. Estos sistemas de control se implementan normalmente mediante un controlador lógico programable (PLC), el cual es que se va utilizar para llevar cabo toda la programación lógica del proceso de teñido en general; El PLC a utilizar es un sedo treepoint el cual va ser el que controla las acciones de acuerdo con el comportamiento observado en la máquina, con el fin de mantener la seguridad y la secuencia del sistema; También supervisadas por un sistema SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos). Sin embargo, para tener en cuenta que la programación de PLC y la implementación de SCADA se basan fuertemente en la experiencia del programador sin una arquitectura estructurada. Inicialmente el motivo y las razones por las que se decide automatizar el proceso de teñido de esta empresa, fue debido a la mala repetitividad en los procesos productivos, ya que estos presentaban variación de tonos en los resultados finales de los lotes. Las dificultades encontradas en la maquina autoclave radicaba principalmente en su funcionamiento manual, en ocasionas a experticia del operario. La manipulación manual de variables análogas y digitales como el tiempo y la temperatura entre otras, hacían que no se

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

cumpliera el resultado final del producto, es decir el hilo no se teñía de forma homogénea en todos sus puntos y esto no daba estandarización al proceso. Seguidamente durante y al finalizar la producción también se encontraban una serie de fallas eléctricas y fugas de aire que ocasionaban daños a los elementos finales de control.

La variación de tono de lote a lote, fue el factor determinante para que se llevara a cabo la automatización de la maquina autoclave, porque cuando se requería que se volviera entonar de nuevo la producción, esta última ya no tenía la misma igualación de color, y esto generaba muchas pérdidas en la materia prima y gastos en el laboratorio tratando de dar una mejor tonalidad al color; También se logró identificar la irregularidad de los tiempos y la temperatura seleccionada por el técnico durante el proceso de teñido, dejaban subir la temperatura más de la ideal en este caso más de 135°C, lo que generaba mareos o veteados en las telas, y por ende la presión aumentaba produciendo más defectos como manchas de colorante y por espuma.

Sin embargo, con los nuevos diseños de recetas configurables hechas en el laboratorio y programadas por la personal producción, por medio de una pantalla conectada al controlador, ha sido el factor más importante para lograr el objetivo principal; debido a que con esto garantizamos un orden lógico en el proceso de teñido, eliminando en su gran mayoría las dificultades mencionadas anteriormente.

Seguidamente en el siguiente capítulo se dará a conocer la descripción del proceso teñido que realiza la empresa Tintorex, mencionando como se hace efectivamente el proceso con la automatización, y corrigiendo las falencias encontradas mencionadas anteriormente.

### 2.1. Descripción del proceso de teñido de la empresa Tintorex

---

El proceso de teñido puede llevarse a cabo en diferentes etapas del proceso textil, es decir, en diferentes esencias: fibras, hilos, telas y prendas. Cuando el proceso de teñido se efectúa durante las primeras etapas, por ejemplo, sobre fibras sueltas (antes de la hilandería) puede lograrse una mejor solidez del color, aunque puede haber zonas donde el colorante no

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

penetre completamente, en las posteriores operaciones de hilandería estas áreas se mezclan a fondo con las fibras teñidas, asegurando así un color uniforme.

La tintura de hilados se realiza más que todo a telas ya listadas o tejidos ya listos, ya que el colorante llega hasta el núcleo del hilo y permite buena solidez del color, este se enrolla en vueltas iguales en unas bobinas dentro la maquina autoclave para que luego sea fácil el devanado.

Un buen teñido depende de diferentes parámetros y condiciones que se pueden evaluar inmediatamente (como la reproducibilidad) es decir que resultados idénticos se obtienen para disminuir la variedad de color entre lotes, y poder analizar el peso de las cargas, el proveedor de hilo o tela, la cantidad de tinta, y numero de técnicos utilizados en el proceso, esto con el fin de observar que tanto porcentaje de quejas por color bajan en el mes.

Seguidamente para llevar a cabo el proceso de teñido el colorante se disuelve o se dispersa en un baño de agua ya sea en una cocina manual o automática, después de un filtrado adecuado se aumenta la solución de colorante en la máquina para que pueda transferir el colorante del baño a la fibra y sea distribuido homogéneamente , pasado un tiempo se deja que el colorante penetre la estructura de la fibra y fijarlo a una temperatura adecuada, para luego poder enjugar y lavar bien todo el material y así poder eliminar el colorante no fijado, se retira solamente cuando el colorante se ha transferido en su totalidad en el producto a teñir.

Este método para transferir el colorante del baño a la fibra se denomina teñido por sistema discontinuo (agotamiento); Este proceso se puede utilizar para fibras, hilos y tejidos.

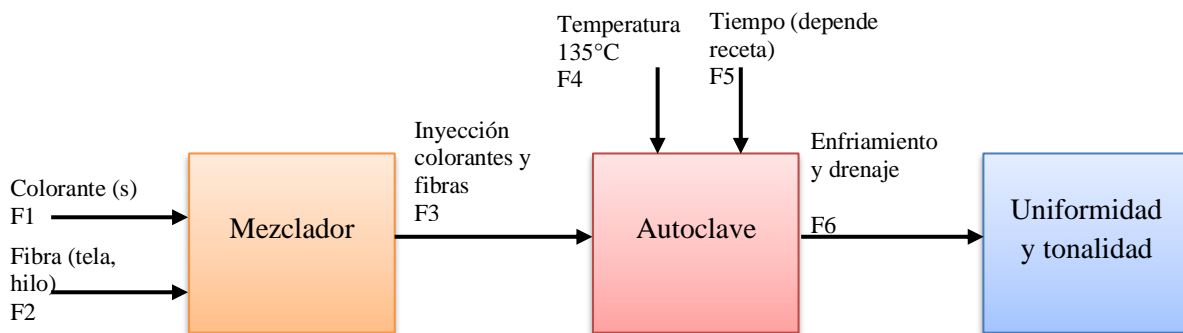
El tinte disuelto en el baño se adsorbe primero, es decir, el material es teñido sólo en su superficie (el resultado en esta etapa depende del movimiento, sea del baño, del sustrato, o de ambos), luego penetra en el núcleo de la fibra (la difusión del colorante se ve afectada por la temperatura y el tiempo de tintura), y finalmente migra permitiendo así la uniformidad del teñido y su consistencia (esta fase se ve afectada por la temperatura y el tiempo). Durante el proceso, las reacciones cinéticas y termodinámicas interactúan (Lavado, 2012).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Si bien ahora la maquina autoclave se programa el proceso de teñido dependiendo de tipo de tejido y el acabado sé que requiera, se selecciona un tipo de receta ya estandarizada y luego comienza principalmente a realizar en la maquina autoclave un descruce o pre lavado para eliminar las impurezas naturales adquiridas de las fibras y tejidos como cera u alcoholes, o en ciertas palabras eliminar la parafina que queda en la tela cuando se teje; seguidamente se evacua cierta agua con la que fue lavada, para luego comenzar a calentar y aplicar los quimios que ayudan a que el color o la tinta pegue y se adhiera. Una vez alcance la temperatura y la presión deseada es decir a 135°C y a 6 bares dependiendo el tipo de tela y receta seleccionada ya se aplica el colorante y hace un ciclo de una hora o quizás un poco más dependiendo de la receta utilizada, alcanzando unos 135°C y bajo presión.

Finalmente, cuando se acaba el proceso de teñido la maquina entra en proceso de refrigeración y descomprensión, de ahí evacua el baño y se saca la tela o hilo para que sea transferida a otro proceso con otras máquinas.

A continuación, se realiza un diagrama de bloques como se muestra en la figura 1, con la finalidad de dar claridad al proceso de teñido explicado anteriormente.



**Figura 1.** Diagrama de bloques del proceso de teñido, (realizado por el autor).

Seguidamente se Identifica y se realiza un diagrama de flujo, ver (figura 2); Para explicar las funciones del proceso de control lógico programado en el PLC SEDO treepoint, que se relaciona con el proceso de teñido automatizado, incluyendo las mejoras involucradas que se hizo con el fin de lograr el objetivo principal.

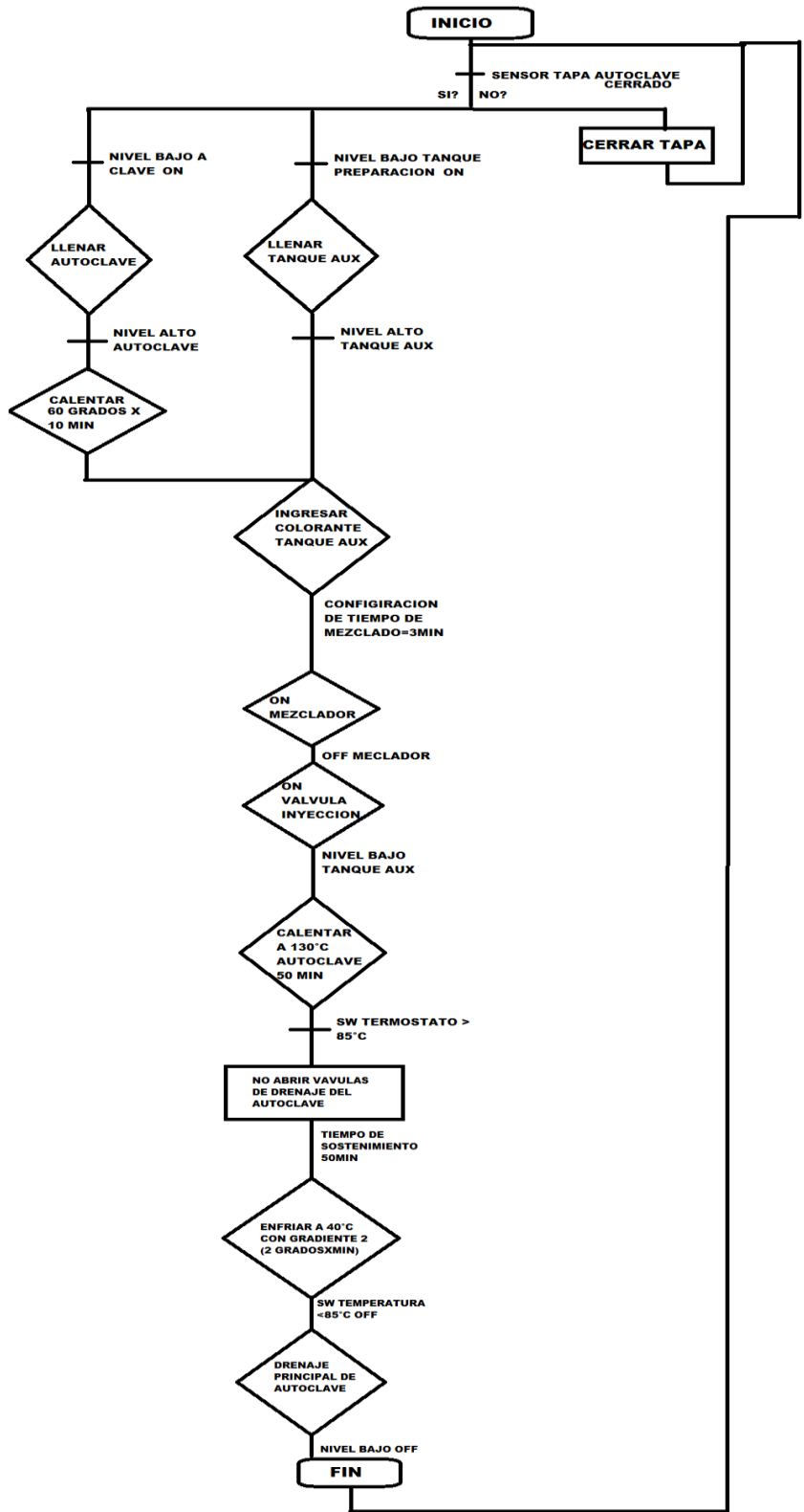


Figura 2: Diagrama de flujo del proceso automatizado (realizada por el autor).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.2 Selección de instrumentos

---

En el siguiente capítulo se relaciona la información de actuadores y sensores que hay disponibles actualmente en la maquina autoclave, además se nombra los instrumentos requeridos que se utilizan para el control de seguridad y el lazo de control automático realizado.

### **ACTUADORES**

- Bomba de recirculación de autoclave
- Motor de mezclador tanque auxiliar
- Bomba de inyección
- Válvula de llenado autoclave
- Válvula de llenado tanque auxiliar
- Válvula de drenaje autoclave
- Válvula de drenaje tanque auxiliar
- Válvula de agua fría intercambiador
- Válvula de agua caliente intercambiador
- Válvula de retorno
- Válvula despresurización
- Cilindro de tapa principal autoclave
- Piloto de falla o alarma
- Pistón de tapa autoclave

### **SENSORES**

- Sensor de presión
- Sensor de temperatura pt100
- Sensor de nivel alto autoclave
- Sensor de nivel bajo autoclave



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Sensor de nivel alto tanque auxiliar
- Sensor de nivel bajo tanque auxiliar
- I/p electrónico
- Sensor de tapa autoclave
- SW de temperatura
- SW de presión
- Sensor final de carrera de tapa principal de maquina autoclave

Seguidamente se identificó y caracterizó las variables de entrada y salida del sistema la cuales se comprende de la siguiente manera:

#### **ENTRADAS DIGITALES**

1. Sensor de nivel alto autoclave
2. Sensor de nivel bajo autoclave
3. Sensor de nivel alto tanque auxiliar
4. Sensor de nivel bajo tanque auxiliar
5. Sensor de tapa autoclave
6. SW de temperatura
7. SW de presión
8. Paro de emergencia
9. Pulsador de inicio
10. Muletilla manual / automático
11. Sensor final de carrera de tapa principal de maquina autoclave

#### **ENTRADAS ANALOGAS**

1. Sensor de presión 4 a 20mA (transductor)
2. Sensor de temperatura Pt100 estándar

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **SALIDAS DIGITALES**

1. Bomba de recirculación de autoclave (run variador)
2. Motor de mezclador tanque auxiliar
3. Válvula de llenado autoclave
4. Válvula de llenado tanque auxiliar
5. Válvula de drenaje autoclave
6. Válvula de drenaje tanque auxiliar
7. Válvula de agua fría intercambiador
8. Válvula de agua caliente intercambiador
9. Válvula de retorno
10. Válvula despresurización
11. Cilindro de tapa principal autoclave
12. Piloto de falla o alarma
13. Bomba de inyección
14. Pistón de seguridad de tapa

### **SALIDAS ANALOGAS**

1. I/P 4 a 20 Ma (transductor)
2. Salida variador 4 a 20 Ma

A continuación, se adquiere la respectiva información de los dispositivos instalados como mejoras y requerimientos para el control de seguridad en lazo de control automático según las características de entrada.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### SENSOR DE NIVEL ALTO AUTOCLAVE Y TANQUE AUXILIAR

INFORMACIÓN TÉCNICA			
Variable Medida	NIVEL	Señal Salida	24VDC PNP
Tipo de Instrumento	SENSOR INDUCTIVO	Exactitud	N/A
Tag Number	I0.0	Resolución	N/A
Unidad(s) de medida	N/A	Marca	AUTONICS
Campo de Medida	AUTO CLAVE Y TK AUX	Modelo	PRL-18-8D
Campo de Indicación		Serie	
<b>Identificar las partes que corresponden a cada etapa del instrumento:</b>  <b>Otras características:</b> _SONDA DE NIVEL.			

*Tabla 1: Tabla de especificaciones de información técnica del sensor de nivel*

*(realizada por el autor).*

### CONTROL DE TEMPERATURA UNIVERSAL

INFORMACIÓN TÉCNICA			
Variable Medida	TEMPERATURA	Señal Salida	24VDC NO
Tipo de Instrumento	CONTROL UNIVERSAL	Exactitud	N/A
Tag Number	I0.5	Resolución	N/A
Unidad(s) de medida	GRADOS	Marca	AUTONICS
Campo de Medida	AUTO CLAVE	Modelo	445R
Campo de Indicación		Serie	56
<b>Identificar las partes que corresponden a cada etapa del instrumento:</b>  <b>Otras características:</b> _CONTROL DE TEMPERATURA UNIVERSAL.			

*Tabla 2: Tabla de especificaciones de información técnica del control de temperatura*

*universal (realizada por el autor).*

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### CONMUTADOR DE PRESION

INFORMACIÓN TÉCNICA			
Variable Medida	PRESION	Señal Salida	24VDC NO
Tipo de Instrumento	SWICH DE PRESION	Exactitud	N/A
Tag Number	I0.6	Resolución	N/A
Unidad(s) de medida	BAR	Marca	SMC
Campo de Medida	AUTO CLAVE	Modelo	TTF5
Campo de Indicación		Serie	
<b>Identificar las partes que corresponden a cada etapa del instrumento:</b>  <b>Otras características: _CONMUTADOR DE PRESION.</b>			

*Tabla 3: Tabla de especificaciones de información técnica del conmutador de presión  
(realizada por el autor).*

### SENSOR DE PRESION 4-20mA (Transductor)

INFORMACIÓN TÉCNICA			
Variable Medida	PRESION	Señal Salida	4.20mA
Tipo de Instrumento	TRASMISOR DE PRESION	Exactitud	+/- 0.002%
Tag Number	AIW752	Resolución	0.05%
Unidad(s) de medida	BAR	Marca	SMC
Campo de Medida	AUTO CLAVE	Modelo	RTT5
Campo de Indicación		Serie	
<b>Identificar las partes que corresponden a cada etapa del instrumento:</b>  <b>Otras características: _TRASMISOR DE PRESION.</b>			

*Tabla 4: Tabla de especificaciones de información técnica del transmisor de presión  
(realizada por el autor).*

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**SENSOR DE TEMPERATURA PT100 TRASMISOR DE 4-20mA**

<b>INFORMACIÓN TÉCNICA</b>			
<b>Variable Medida</b>	<b>TEMPERATURA</b>	<b>Señal Salida</b>	<b>4.20mA</b>
<b>Tipo de Instrumento</b>	<b>TRASMISOR DE TEMPERATURA</b>	<b>Exactitud</b>	<b>+/- 0.005%</b>
<b>Tag Number</b>	<b>AIW754</b>	<b>Resolución</b>	<b>0.06%</b>
<b>Unidad(s) de medida</b>	<b>GRADOS CEL</b>	<b>Marca</b>	<b>UNIVERSAL</b>
<b>Campo de Medida</b>	<b>AUTO CLAVE</b>	<b>Modelo</b>	
<b>Campo de Indicación</b>		<b>Serie</b>	
<b>Identificar las partes que corresponden a cada etapa del instrumento:</b>  <b>Otras características:</b> _TRASMISOR DE TEMPERATURA.			

***Tabla 5:** Tabla de especificaciones de información técnica del transmisor de temperatura (realizada por el autor).*

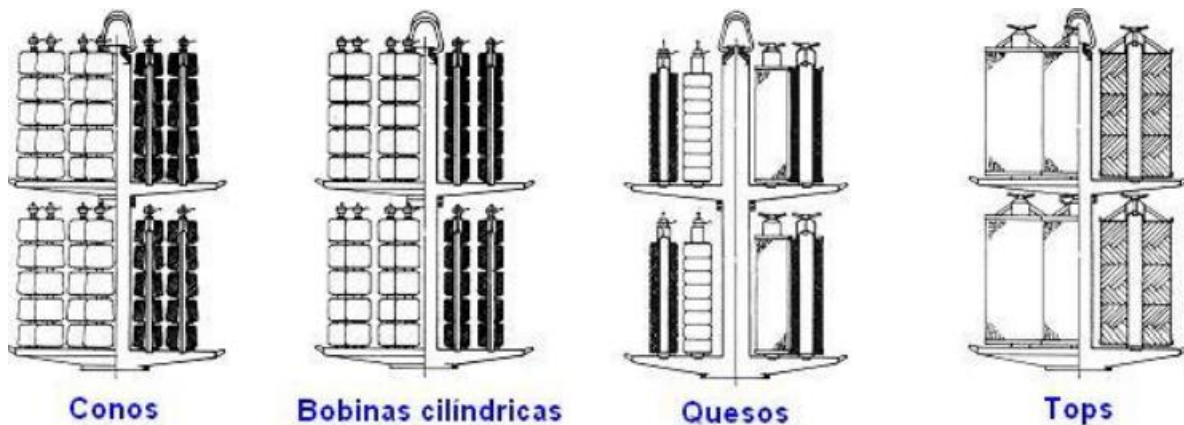
Mediante la información acabada de mencionar como muestra de selección de instrumentos y variables utilizadas, servirán para la implementación del diseño de control realizado en el siguiente capítulo, ya que hay que dimensionar los equipos y los espacios a utilizar en gabinete principal, además los externos a la maquina autoclave como lo son los sensores y actuadores.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA AUTOCLAVE DE TEÑIDO TELA

En este capítulo se consolida el diseño para la maquina autoclave en donde se puede visualizar la automatización implementada por la empresa Prosys control SAS y dar a conocer la descripción de la autoclave. Seguidamente se da a conocer en teoría la función que comprende la maquina autoclave a utilizar.

La máquina autoclave un recipiente de presión metálico de paredes gruesas con un cierre hermético que permite trabajar a alta presión para realizar una reacción industrial en este caso esta ubicada de forma vertical y se utiliza para el teñido de fibras e hilos en diferentes presentaciones como madejas de hilo, boninas, plegadores, quesos, etc. Su material está hecho en acero inoxidable donde se colocan la portamateriales intercambiables para el teñido del producto en sus diferentes etapas de procesamiento (canastas para fibras, porta bobinas para hilo, porta quesos, rollos de tela, entre otras (Lavado, 2012).



**Figura 3:** *Diferentes configuraciones del portamaterial para el teñido en autoclaves.*

**Fuente:** (Lavado, 2012).

En la figura 3 se muestran varias configuraciones de portamateriales hechas de dos niveles superpuestos, que se pueden separar para facilitar la carga y descarga en una autoclave de forma vertical (Lavado, 2012).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Seguidamente la maquina autoclave se comprende de una bomba de circulación, un tanque auxiliar donde se añaden los colorantes sin detener el funcionamiento de la máquina, una bomba de inyección para introducir los colorantes, sales y minerales a la maquina autoclave, un panel de control para seleccionar los pasos y recetas y una pantalla para visualizar el estado del proceso de teñido automatizado.



**Figura 4:** Autoclave vertical para teñido de hilos en bobinas.

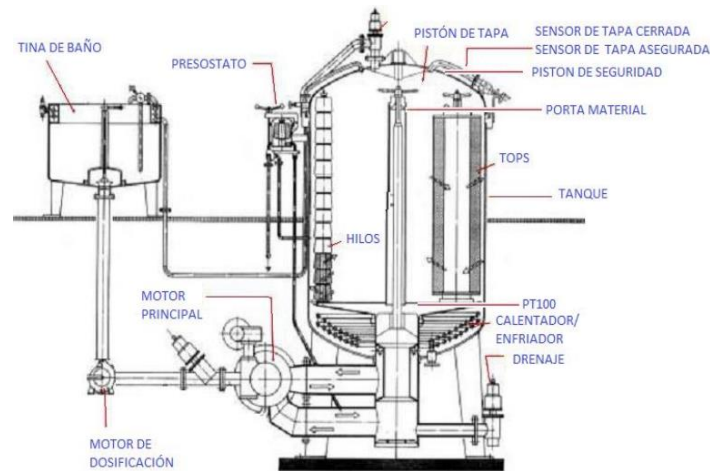
**Fuente:** (Lavado, 2012).

En esta máquina autoclave el proceso de tintura se mantiene circulando por medio de bombas centrífugas o helicoidales: estas bombas deben mantener la solución circulando a través del sustrato, de modo que la superficie de la fibra esté saturada con el colorante. Para ello, el líquido debe superar todas las fuerzas de resistencia generadas por las tuberías y por el material (caída de presión) e invertir su dirección de circulación en diferentes momentos para obtener un color uniforme (Lavado, 2012).

La máquina autoclave puede operar a una presión máxima de funcionamiento de 6 a 8 bar, y son presurizadas por medio de un colchón de aire comprimido; son adecuadas para el tratamiento de las fibras sintéticas hasta a una temperatura de funcionamiento de 135°C.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A continuación, se puede visualizar una maquina autoclave con los elementos de control básicos propuestos, Ver figura 5.



**Figura 5:** Imagen seccionada de una autoclave vertical.

**Fuente:** (Lavado, 2012)-

Seguidamente a continuación, se describe la estructura que componen la maquina autoclave, automatizada por la empresa Prosys Control SAS dando a conocer sus respectivas características, y se comprenden de la siguiente manera:

**Tanque:** Es el recipiente de acero inoxidable de forma cilíndrica cuyo espesor es de 2.0 cm de ancho en las paredes y que se divide en dos compartimientos, uno donde se realiza el teñido de la fibra que es el de mayor tamaño y el otro donde se ubica el serpentín y las paletas para el movimiento de aguas que controla la temperatura y sentido de giro del proceso en el tanque respectivamente; Ambos compartimientos están divididos por un enrejado. Ver La Figura 6 en donde se muestra una foto del tanque real de la maquina autoclave.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 6:** Imagen del tanque de la Autoclave (imagen tomada por el autor).

**Las características del tanque son las siguientes:**

- Capacidad de carga nominal desde 5 a 2000 kg.
- Rango de presión de 5.0 kg/cm<sup>2</sup>.
- Temperaturas máximas de 160 °C.
- Construcción en acero inoxidable AISI 316-L.
- Altura de 2,30 m aproximadamente de extremo a extremo.
- Radio de área de 1,45 m aproximadamente.

**Sistema de calentamiento y enfriamiento:** Se realiza por medio de un intercambiador de calor que internamente tiene un serpentín el cual tiene dos modos distintos de uso, uno para el ingreso de agua fría que hace la regulación de enfriamiento y el otro es para el ingreso de vapor que hace la regulación del calentamiento, mediante seis válvulas, cuatro on-off, y dos proporcionales que controla el transductor I/P; Las válvulas on-off son una para la entrada de agua fría y otra para entrada de agua caliente, otra válvula para el retorno de agua fría y la restante para el retorno de condensado.

**Porta material:** es el objeto donde que se introduce dentro del tanque la autoclave para sostener la producción.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 7:** Porta materiales.

**Fuente:** (Lavado, 2012).

**Sistema eléctrico:** El sistema eléctrico es abastecido por EPM, el cual por medio de un transformador eléctrico que convierte de 3600 Voltios trifásico a 440 y 220 Voltios trifásicos, con lo que se abastece a toda la empresa.

El voltaje usado en la Autoclave es de 220 V trifásico para la alimentación de los equipos (instrumentación, equipos de control, supervisión y otros) y 440 V para el sistema de potencia, motores y bombas.

**Tablero eléctrico:** comprende unas dimensiones de 200 cm altura \* 60 cm de profundidad \* 90 de ancho aproximadamente, donde se instalan los elementos de protección y control eléctrico, elementos de maniobra y transductores.



**Figura 8:** Tablero eléctrico Autoclave (Imagen real tomada por el autor).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A continuación, se da a conocer las funciones implementadas en las que se podrá crear recetas modificables y posteriormente ser guardadas y observadas en la pantalla SEDO treepoint 1800 por el diseñador de las mismas, con el fin garantizar un buen diseño y la operación optima de la maquina autoclave. Estas se dividen en tres grupos y son las siguientes:

- 1) **Funciones principales:** son aquellas que solo intervienen en el control de la maquina autoclave y el intercambiador de calor para modificar la temperatura.
- 2) **Funciones paralelas:** son aquellas que intervienen en el tanque auxiliar, los accesorios (válvulas, mezclador etc.) y la bomba de inyección.
- 3) **Funciones de datos:** Estas funciones solo controlan los llamados a operador por medio de mensajes y ruido de la pantalla implementada, la velocidad y el control de la bomba de recirculación, además el parámetro de presión máxima de seguridad.

**Funciones principales:**

**Llenado de agua:** El llenado de agua es un parámetro modificable por la pantalla implementada, este se puede variar según la receta y tiene dos modos de llenado, que son agua caliente o agua fría.

**Termorregulación:** Este parámetro es el principal para el control de temperatura, se compone de varios parámetros que son los siguientes:

- Calentamiento: este parámetro selecciona la válvula de calentamiento en el programa lógico del PLC.
- Gradiente: significa a cuantos grados por minuto se desea calentar.
- Tiempo de sostenimiento: Significa el tiempo que mantiene la temperatura cuando alcance el máximo nivel deseado.
- Enfriamiento: Este parámetro selecciona la válvula de enfriamiento en el programa lógico del PLC.

**Drenaje:** Esta función es para determinar en la receta cuando se ejecuta la función de descargar del agua restante cuando se termine el proceso.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Funciones paralelas

**Llenado de agua:** El llenado de agua es un parámetro modificable por la pantalla, este se puede variar según la receta y tiene dos modos de llenado, que son agua caliente o agua fría.

**Inyección de productos:** en esta función el proceso inyecta los químicos y productos desde el tanque auxiliar hasta la maquina autoclave, por medio de la bomba de inyección.

**Drenaje:** Esta función es para determinar en la receta cuando se ejecuta la función de descargar del agua restante cuando se termine el proceso.

### Funciones de datos

**Velocidad de la bomba:** En este parámetro el operador determina la velocidad de la bomba de recirculación con un porcentaje de 0 a 100%, que relaciona mucho con las técnicas de teñido, para que el producto terminado mantenga homogenizada la temperatura en todos los puntos de la maquina autoclave.

**Ajuste de presión máxima:** en este parámetro el operador tiene la facilidad de modificar el setpoint o punto de ajuste de la presión máxima que es implementada por seguridad. Se ajusta dependiendo el volumen de trabajo, del tipo de receta y del material a utilizar. Cuando la variable de presión obtenga el mismo valor del punto de ajuste, inmediatamente por lógica programada en el PLC abre la válvula de despresurización.

La finalidad de tener presente estas funciones explicadas anteriormente y las características principales del diseño de la maquina autoclave se debe a que el encargado de las recetas de teñido en el laboratorio tenga una mejor particularidad y visión en cuanto al procedimiento y así pueda modificar las recetas y guardarlas posteriormente, brindándole la oportunidad al operador de que pueda utilizar las recetas en los procesos que se van ejecutando.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Seguidamente damos paso a dar conocer el contenido del diagrama de instrumentación implementado en el proceso de teñido de la maquina autoclave con el fin de visualizar todos los instrumentos utilizados y los elementos finales de control.

### 3.1. Diagrama de instrumentación y tubería (P&ID)

---

A continuación, se realiza un diagrama de tubería y de instrumentación P&ID basados en el artículo (Using process flow sheets as communication tools 2012), ver Figura 9, esencial para la documentación y la visión general de este proceso, donde podrá visualizar la tubería que describe el proceso y los instrumentos involucrados actualmente en el presente trabajo, sus componentes físicos y como se controla. Se mostrará cada tubería, válvula, bomba, recipiente e instrumento de la planta. Además, se relaciona la explicación del proceso de control lógico programable del funcionamiento de la maquina autoclave donde intervienen todos los elementos expuestos en el diagrama de instrumentación.

El funcionamiento básico del proceso de control en general, se obtiene con una serie de pasos lógicos los cuales están condicionados por el sistema implementado para no ser alterados.

Inicialmente el proceso después de ingresar la materia prima, la maquina autoclave debe de permanecer cerrada y el sensor debe de estar activo en nivel de agua mínimo para poder arrancar la bomba de re circulación y así proteger la misma. Si por alguna razón estos dos parámetros no se cumplen, el sistema implementado debe indicar en la pantalla del controlador, un mensaje donde uno o los dos parámetros no se estén cumpliendo para iniciar el proceso.

Teniendo en cuenta lo acabado de mencionar, el proceso se inicia seleccionando mediante la pantalla implementada, la receta programada que se encuentra guardada en el sistema, seguidamente se continúa presionando un pulsador de inicio como fue denominado en la lista de entradas anteriormente, y girando el selector en modo automático como se denominó en la lista de entradas también. Asegurar que siempre en todas las recetas de

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

teñido se llene con agua la maquina autoclave y que luego en paralelo se llene el tanque auxiliar si así lo requiere la receta programada hasta nivel máximo. Una vez los niveles programados están activos de ambos según lógica positiva, el sistema da paso a realizar el calentamiento y los tiempos requeridos por la receta, luego prende automáticamente la bomba de re circulación con una velocidad controlada para homogenizar la temperatura y así garantizar esta en todos los puntos del volumen generar de la maquina autoclave.

Una vez se cumple los tiempos de preparación inicial, la maquina realiza un enfriamiento automático a 80 grados por seguridad externa, para poder ingresar los colorantes y los químicos, los cuales son mezclados por un tiempo determinado en la receta de preparación; su resultado es inyectado a la maquina autoclave mediante una bomba y una válvula de inyección, denominadas así en el listado de salidas anteriormente.

Luego pasa a trabajar la temperatura controlada mediante un gradiente es decir cuántos grados por minuto va empezar a calentar o a controlar la temperatura que es manipulada por un intercambiador de calor que tiene seis válvulas, las cuales se caracterizan en cuatro on-off y dos proporcionales.

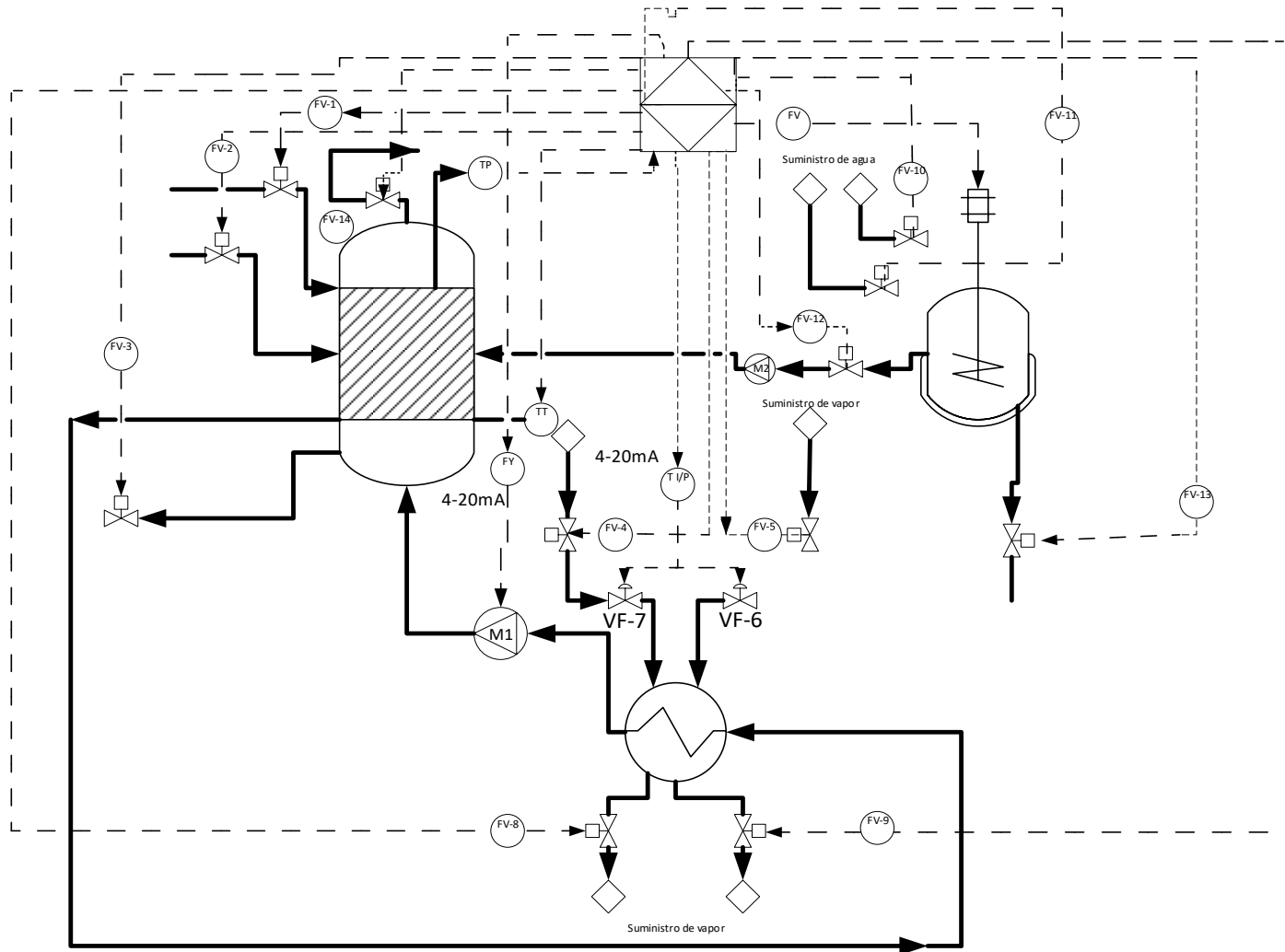
Las dos primeras válvulas on-off cumplen la función de ingresar agua fría o caliente al intercambiador, que su función es calentar un serpentín. La entrada de cualquier tipo de agua al intercambiador es controlada por las válvulas proporcionales, que se regulan en un porcentaje de 0 a 100 % en relación con la presión de la válvula que va desde 0 a 250 psi, que a su vez son controladas por un regulador electrónico I/P de 4 a 20 mA; si es 0 el % son 4mA y si es 100 el % son 20ma. Esta proporción de las válvulas las calcula el control PI programado en la lógica de del PLC a medida que se encuentre alguna perturbación en el sistema. Es decir, cada vez que se encuentre con un error del set point con respecto a la variable de salida que es la temperatura, el controlador regula la corriente del transductor I/P para corregir dicho error.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las otras dos válvulas on-off de las que se compone el intercambiador, su función es retornar el agua fría y el condensado que se acumula en él y así llevarlo a un depósito exterior a la máquina para poder garantizar su buen funcionamiento.


Finalmente, explicado todo el proceso de la temperatura y una vez cumplió con los parámetros de calentamiento de la receta programada, ejecuta la siguiente función que es el enfriamiento de la máquina autoclave; el intercambiador realiza la tarea de enfriar el agua hasta una temperatura por debajo 70 grados centígrados para así poder drenar con la válvula el agua restante que acumuló la máquina autoclave. Cuando se termina todo este proceso la pantalla le indica al operario por medio de una señal de texto que el proceso finalizó; con estas condiciones el operador puede retirar el producto terminado.

Ahora se da paso a la identificación del diagrama de instrumentación ver figura 9.



**Figura 9:** Diagrama de instrumentación y tubería del proceso de teñido (realizado por el autor).



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### Identificación de variables y selección de la instrumentación

De acuerdo al diagrama de instrumentación de la Figura 9, en las Tablas 6 y 7 se presentan las variables del manipuladas y las variables medidas y almacenadas respectivamente.

**Tabla 6. Variables manipuladas.**

TAG	Variable	Tipo de señal	Rango (UI)	Tipo de Instrumento
<b>M-1</b>	Bomba de recirculación	Digital		bomba centrífuga
<b>FV -8</b>	Retorno de condensado	Digital		Válvula electro neumática
<b>FV -9</b>	Retorno de agua	Digital		Válvula electro neumática
<b>FV-10</b>	Llenado de agua tanque fría	Digital		Válvula electro neumática
<b>FV-11</b>	Llenado de agua tanque caliente	Digital		Válvula electro neumática
<b>FV-12</b>	Inyección de colorantes	Digital		Válvula electro neumática
<b>M -2</b>	Mezclador de colores	Digital		Motor eléctrico
<b>FV-13</b>	Drenaje de agua tanque auxiliar	Digital		Válvula electro neumática
<b>FV - 4</b>	Vapor	Análoga	[4 - 20] mA	Válvula reguladora proporcional electro neumática
<b>FV - 5</b>	Agua fría intercambiador	Análoga	[4 - 20] mA	Válvula reguladora proporcional electro neumática
<b>FV-14</b>	Despresurización	Digital		Válvula electro neumática

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 7. Variables medidas y almacenadas.**

<b>TAG</b>	<b>Variable</b>	<b>Tipo de señal</b>	<b>Rango (UI)</b>	<b>Tipo de Instrumento</b>
<b>TT</b>	Temperatura maquina autoclave	Análoga	[21 - 145] °C	RTD o Termopar
<b>TP</b>	Presión	Análoga	[0 - 8] Bar	Transductor de presión
<b>FV-1</b>	Presión	Análoga	[0 - 6] °C	Transductor de presión I/P
<b>FV -1</b>	Llenado de agua fría autoclave	digital		Válvula Electro neumática 3/2
<b>FV -2</b>	Llenado de agua caliente autoclave	digital		Válvula Electro neumática 3/2
<b>FV -3</b>	Drenaje maquina autoclave	digital		Válvula electro neumática 3/2
<b>FY</b>	Recirculación	Análoga	[0 -20] mA	Variador de velocidad

A continuación, se dimensionan los dispositivos de control tanto en hardware como en software. Los dispositivos utilizados para el proyecto son los siguientes:

- PLC con Pantalla integrada touch Screen full color de 7 pulgadas marca SEDO TREEPOINT con comunicación Ethernet; software utilizado SEDO CONFIG, PROVISIT, PLC PROYECT.
- Módulo de comunicación para entradas y salidas análogas a 4<sup>a</sup>20mA de marca siemens 4AI/2AO.
- Transductor I/P corriente a presión.
- Cables de comunicación de 3 puntos profibus (morado).
- Variador de velocidad de marca ALTIVAR.
- Transductor de P/I presión a corriente.
- Relés de interface para salidas de PLC de marca FINDER 14 pines.
- Sondas de nivel digitales, para control de llenado Elettrosonda QSR.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Seguidamente se da paso a dar claridad sobre las mejoras que se realizó en el proceso de teñido de la maquina autoclave de la empresa Tintorex, mediante la utilización de los dispositivos mencionados anteriormente.

Si bien tiene implementado un PLC que ejecuta todo el proceso lógico y manipula las variables externas por medio de un algoritmo desarrollado en el software propio de la marca. Además, en continuación con la pantalla implementada se logra visualizar todo el proceso en tiempo real y a su vez poder modificar las recetas diseñadas por el laboratorio de producción, esto con el fin de mitigar todos los errores de estandarización.

Esto importante ya que el técnico operario ya no va tener mayor contacto directo con las variables como el tiempo y la temperatura que son las más importantes a la hora de obtener los resultados finales del proceso.

Continuamente se implementa un variador de velocidad de marca ALTIVAR, con el fin de controlar la bomba principal de recirculación ayudando a la homogenización del color en todos sus puntos, ya que con esto la velocidad aumenta o disminuye dependiendo de la receta de teñido y el tipo de material a trabajar.

Sin embargo, también se utilizó un transductor I/P para regular las válvulas proporcionales del intercambiador de calor, controladas por el PLC por una técnica denominada PI (proporcional integral); Dándole mejor estabilizad y precisión al control de temperatura para el resultado final en conjunto con la bomba de recirculación se cumpla el punto deseado que es el setpoint programado en las respectivas recetas.

También se utilizó un transductor P/I para controlar la presión interna de la maquina autoclave, para dar seguridad y posteriormente abrir la válvula de despresurización después de que llegue al punto deseado programado en las recetas, ya que si se sobrepasa la presión

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

puede ocasionar accidentes al operador y defectos en el proceso, como se venía trabajando de forma manual que se dejaba en manos del técnico esto mencionado.

Ahora se hace mención a los relés de interfaz que conmuta las señales digitales con las salidas del PLC, brindarle mayor seguridad y protegerlas de un retorno de corriente o de un corto externo de un elemento final de control.

Finalmente, se utilizan las sondas de nivel porque anteriormente se trabajaban con sensores digitales magnéticos y no detectaba en ocasiones los cambios de nivel debido a la espuma del agua. Con la sonda de nivel se puede dar mejor sensibilidad son ajustables a la señal y mejor respuesta a la señal de control.

Seguidamente se ajusta y se calibra los sensores y actuadores que ya estaban instalados para que funcionaran en conjunto con los nuevos dispositivos mencionados anteriormente.

Ahora le damos paso a la implementación de los planos eléctricos de potencia de la maquina autoclave, con ellos se podrá observar la relación de los motores principales.

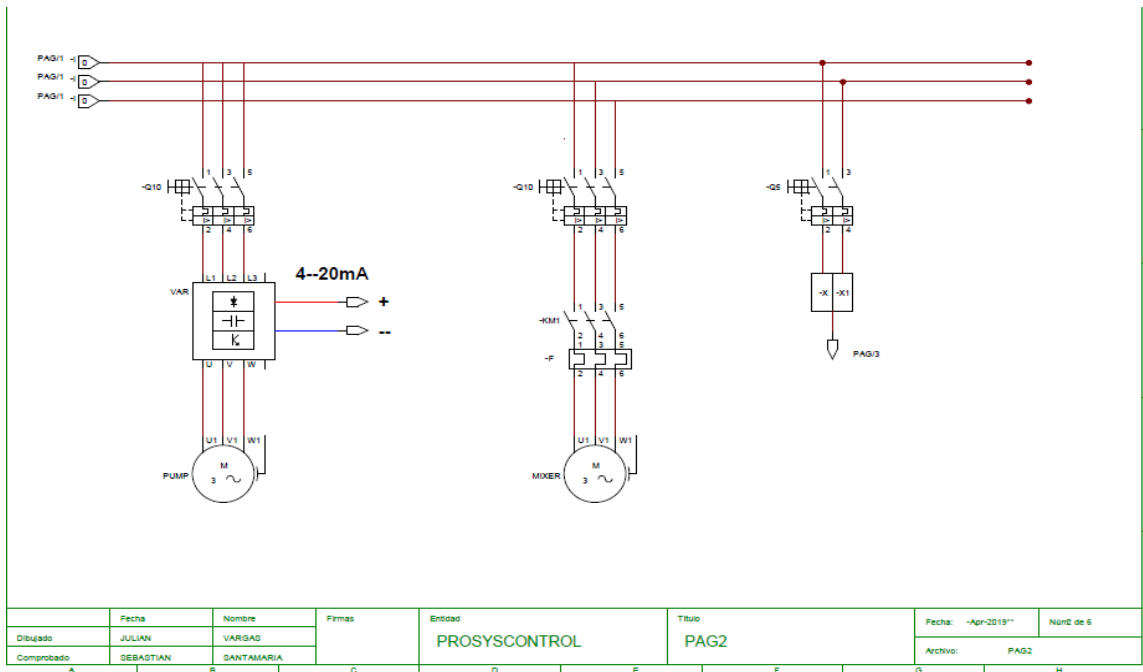
### 3.2. Diseño de los planos eléctricos de potencia y de control del gabinete

---

Los respectivos planos eléctricos y de potencia se encuentran adjuntos al proyecto en una carpeta en archivos PDF, allí se podrá visualizar los planos de control y de potencia completos.

En la figura 7 se muestra el plano de potencia principal; Los cuales están conectados a una red trifásica a 440 VAC; allí están protegidos por un breaker tripolar. La bomba de recirculación principal está conectado a un variador por una señal de 4 a 20mA guiada por una señal de salida análoga del PLC, mientras que el mezclador del tanque auxiliar está controlado por una señal digital del PLC.

También se puede observar un breaker bipolar donde se conectan a una bornera dos líneas vivas para alimentar otra parte del circuito.

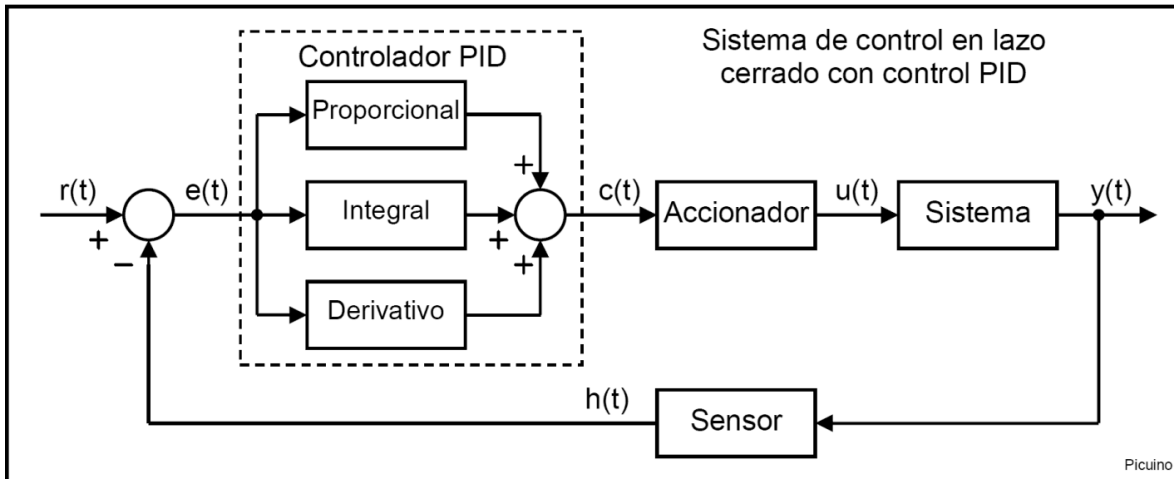


**Figura 10:** Plano de potencia de moto, bomba principal e inyección (realizado por el autor).

Una vez obtenido toda información necesaria, se concluye el capítulo con la sintonización del controlador PI, con el fin de justificar los resultados obtenidos.

### 3.3. Sintonización del controlador PID

Un controlador o regulador PID es un dispositivo que permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado. El controlador PID está compuesto de tres elementos que proporcionan una acción Proporcional, Integral y Derivativa. Estas tres acciones son las que dan nombre al controlador PID (Ogata, 2010).



**Figura 11:** Sistema de control en lazo cerrado con un control PID.

**Fuente:** (Ogata, 2010).

Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador PID es aún el más ampliamente utilizado en la industria moderna, controlando más del 95 % de los procesos industriales en lazo cerrado (Ogata, 2010).

Para la automatización del proceso de teñido de la maquina autoclave se implementó un método de sintonización de control PI (acción proporcional, acción Integral) el cual está definido de la siguiente manera:

#### **Acción de control Proporcional:**

Como su nombre indica, esta acción de control es proporcional a la señal de error  $e(t)$ . Internamente la acción proporcional multiplica la señal de error por una constante  $K_p$ . Esta acción de control intenta minimizar el error del sistema. Cuando el error es grande, la acción de control es grande y tiende a minimizar este error (Ogata, 2010).

Aumentar la acción proporcional  $K_p$  tiene los siguientes efectos:

- Aumenta la velocidad de respuesta del sistema.
- Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
- Aumenta la inestabilidad del sistema.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **Acción de control Integral:**

Esta acción de control como su nombre indica, calcula la integral de la señal de error  $e(t)$ . La integral se puede ver como la suma o acumulación de la señal de error. A medida que pasa el tiempo pequeños errores se van sumando para hacer que la acción integral sea cada vez mayor. Con esto se consigue reducir el error del sistema en régimen permanente. La desventaja de utilizar la acción integral consiste en que esta añade una cierta inercia al sistema y por lo tanto le hace más inestable (Ogata, 2010).

Aumentar la acción integral  $K_i$  tiene los siguientes efectos:

- Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
- Aumenta la inestabilidad del sistema.
- Aumenta un poco la velocidad del sistema.

### **Acción de control derivativo:**

El control derivativo se introduce para manejar cambios rápidos en el proceso. Este mismo derivativo produce una tercera señal de error basada en la pendiente del error, o cuánto cambia el valor del error en un período de tiempo determinado; Cuando se solicita un cambio por primera vez, la pendiente de error es relativamente pronunciada y la porción derivada del error es significativa. A medida que el proceso alcanza el estado estable, la pendiente de error será superficial, y el efecto del control Derivado se reduce.

El método de sintonización de reguladores PID de Ziegler-Nichols permite definir las ganancias proporcional, integral y derivativa a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o a partir de la respuesta del sistema en lazo cerrado. Cada uno de los dos ensayos se ajusta mejor a un tipo de sistema (Ogata, 2010).

Uno de los métodos de Ziegler-Nichols permite ajustar o "sintonizar" un controlador PID de forma empírica, basado en las mediciones realizadas sobre la planta, en este caso en la máquina de teñido autoclave; Sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o del sistema controlado, se realiza una serie de modificaciones sucesivas de los parámetros de control hasta conseguir las especificaciones deseadas. Este método fue seleccionado para

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la sintonización del controlador implementado en este trabajo. En primero lugar se desconocía algunos datos para calcular la función de transferencia y posteriormente calcular las constantes, seguidamente se ajustan primero la respuesta transitoria sin importar el error estacionario; Se usa P (acción proporcional) para obtener la mejor respuesta en ocasiones se puede agregar D (acción derivativa) para intentar mejorar y posteriormente verificar el error estacionario y finalmente introducir I (acción integral) para darle más precisión al proceso sin que afecte el transitorio, Si tiene retardos bajar la derivativa y aumentar integral, en este caso se decidió no utilizar la derivativa. Además, este método de forma empírica nos permite relacionar mejor los valores con respecto al ajuste del controlador PLC; El controlador tiene una función que es parametrizable y comprende los siguientes parámetros:

- Contantes P, I, D que son ajustables dependiendo del sistema de control a utilizar y explicados anteriormente.
- BIAS de control: Si el desplazamiento en un proceso es constante, puede eliminarse simplemente agregando un valor igual pero opuesto, llamado BIAS. Este es un valor fijo, que es determinado por el usuario, pero no es modificado ni operado por El control PID. Muchos procesos se pueden controlar de manera efectiva utilizando un control proporcional y un poco de derivativa.

Cuando el proceso de automatización se interrumpe por primera vez, el componente proporcional del controlador interno del PLC intenta realizar cambios en la salida del controlador seleccionado en este caso PI. A medida que el proceso tiene más control, la magnitud del error comienza a reducirse. La acción proporcional sigue impulsando el proceso hacia el punto de ajuste con un cambio en los errores cada vez más pequeño; La acción derivada comienza a reducirse y la acción integral, viendo que el valor del error se acerca a un valor de estado estable, comienza a afirmarse para reducir el error debido a la compensación.

Una vez que el proceso alcanza el estado estable, la acción proporcional produce valores de error muy pequeño e intenta dar algún valor de compensación. La acción integral mide



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

cuánto tiempo dura el error y permanece en un valor y esta a su vez produce su propia señal de error para poder compensar el control; Dado a que la tasa de cambio es decir la acción derivada en error es pequeña, casi cero.

Se utilizó un método de forma de forma empírica para implementar una función PID, el ISA el cual es el bloque que se configura en la lógica de programación del controlador PLC, en este caso el método seleccionado para la sintonización del controlador implementado en este trabajo:

**ISA PID = CVout = Kp \* (Error + (Error \* dt / Ti) + (Td \* Derivado)) + CVBias; Dónde:**

**dt** = Reloj de tiempo transcurrido interno del PLC o Reloj de tiempo transcurrido anterior del PLC

**Derivada** = (Error Actual - Error anterior) / dt

**Derivada** = (pv - PV anterior) / dt

Seguidamente se selecciona por el usuario la configuración dependiendo de la receta.

**Ti** = tiempo integral

**Td** = tiempo derivado

El PID ISA es un algoritmo más asequible de sintonizar de forma empírica, Las acciones proporcional, integral y derivativa son no interactivas en el dominio del tiempo. Este algoritmo admite ceros complejos, lo que es útil cuando se controla sistemas con polos oscilatorios. Seguidamente que para tener presente CVBias es un término adicional separado de los componentes PID, este es un valor fijo, que es determinado por el usuario, pero no es modificado ni operado por el control PID. Esto se usa comúnmente donde solo se utiliza el término proporcional (Kp) (un elemento solo proporcional). Es decir que solo va a ser directamente proporcional a la variable de salida del controlador. Finalmente, esto fuerza la salida de CV (Variable de Control) a un valor distinto de cero cuando la variable de proceso (PV) es igual al punto de ajuste SP (Set point).

El ajuste de PID depende del conocimiento del usuario del proceso a controlar. Kp, Ki y Kd son determinado por las características de los procesos

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **Ajuste de lazo de PID implementado en el controlador PLC**

El objetivo de un control PID ajustado es, cuando se genere un cambio en el punto de ajuste SP o PV variable de proceso, generar un control, en el cual CV variable del proceso este cada vez más cerca al SP (set point) o punto de ajuste. Esto se hace lo más rápido posible y con fluctuaciones mínimas sobre el valor final.

Para cumplir con estos objetivos, el sistema PID debe estar sintonizado. Es decir, se deben seleccionar valores adecuados para  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  de tal manera que, para cualquier interrupción en el proceso, el proceso se devuelve al valor deseado, como de la forma más rápida y precisa posible. Estos dos requisitos suelen ser mutuamente excluyentes. Un proceso se puede controlar rápidamente, pero con menos precisión, o más lento, pero más preciso. Depende del proceso para determinar el comportamiento óptimo entre estos dos puntos y hacer ajustes al PID.

#### **Sintonización del proceso:**

Si se conocen  $K$ ,  $T_c$  y  $T_p$ , podemos usar las siguientes ecuaciones para estimar los valores iniciales de  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  en un control proporcional / integral / derivado (PID):

$K$ : 0.63

$T_c$  y  $T_p$ : (unidades de tiempo de PLC definidas por el programador).

$T_c$ : 0,5 mS

$T_p$ : 0,9 mS

$$K_p = (1.2 * T_c) / (K * T_p)$$

$$K_i = (0.6 * T_c) / (K * T_p * T_p)$$

$$K_d = (0.6 * T_c) / K$$

$T_c$  y  $T_p$  son unidades de tiempo. Es importante asegurarse de que ambos se expresen en unidades idénticas (es decir, milisegundos, segundos, horas o cualquier período de tiempo apropiado para el proceso). Sin embargo, para usar en el cuadro de diálogo SEDO TREEPOINT PID TUNE, estos valores deben expresarse a intervalos de 10 mS (por ejemplo: "100" = 10 mS \* 100 = 1 segundo).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Si se desea un control solo proporcional ( $K_i$  y  $K_d = 0$ ), se usa la ecuación:  $K_p = T_c / (K * T_p)$ .

Para el control proporcional / integral ( $K_d = 0$ ); el cual es el control realizado en el proceso que se usó teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$K_p = (1,2 * T_c) / (K * T_p) * 100$ ; Donde 100 es el porcentaje mayor

$K_i = (0,6 * T_c) / (K * T_p)$

Estas ecuaciones se conocen como el método de ajuste de forma empírica de Ziegler-Nichols, desarrollado por John Zeigler y Nathaniel Nichols en la década de 1940.

$K_p = (1,2 * 0,5) / (0,635 * 0,9) * 100 = 104,98$

$K_i = (0,6 * 0,5) / (0,635 * 0,9) * 100 = 52,49$

Estos resultados se ingresan al módulo PID ISA dentro de la lógica de la programación explicada anteriormente para calibrar el sistema, se explicará con mayor detalle en el siguiente capítulo de resultados.

Ahora damos paso a mencionar los respectivos resultados y discusión que se obtuvieron durante y al finalizar el proceso de automatización de la maquina autoclave.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

En este capítulo se dará mención a los resultados obtenidos del proceso final de automatización de la maquina autoclave y la evaluación del funcionamiento de la maquinaria mostrando una serie de imágenes con su respectiva explicación.

En el sistema se logró obtener una serie de resultados que arrojó la base de datos generada por el PLC en un archivo .CSV; En la tabla 8 se evidencia la base de datos con la puesta en marcha del setpoint vs la temperatura en tiempo real, cuyas características sirvieron para observar el comportamiento de ajuste del PID implementado y brindarle a la empresa Tintorex sus respectivos resultados para evaluar la efectividad del nuevo sistema integrado con respecto al control y monitoreo de la maquina autoclave, la cual no se ha presentado ninguno inconveniente hasta la fecha.

FECHA	HORA	MAQUINA	SETPOINT	TEMPERATURA
09/04/2019	10:00 AM	MAQUIN3	40°C	39.5 C
09/04/2019	11:00 AM	MAQUIN3	44°C	44.2 °C
09/04/2019	12:00 PM	MAQUIN3	48°C	47.8 °C
09/04/2019	13:00 PM	MAQUIN3	54°C	53.4 °C
09/04/2019	14:00 PM	MAQUIN3	57°C	57.0 °C
09/04/2019	15:00 PM	MAQUIN3	60°C	59.6 °C
09/04/2019	16:00 PM	MAQUIN3	63°C	62.8 °C
09/04/2019	17:00 PM	MAQUIN3	68°C	67.7 °C
09/04/2019	18:00 PM	MAQUIN3	73°C	73.4 °C
09/04/2019	19:00 PM	MAQUIN3	78°C	77.8 °C
09/04/2019	20:00 PM	MAQUIN3	81°C	82.2 °C
09/04/2019	21:00 PM	MAQUIN3	86°C	85.5 °C
09/04/2019	22:00 PM	MAQUIN3	90°C	89.7 °C
09/04/2019	23:00 PM	MAQUIN3	94°C	94.0 °C
09/04/2019	00:00 AM	MAQUIN3	97°C	97.2 °C
09/04/2019	01:00 AM	MAQUIN3	100°C	100.3 °C

**Tabla 8:** Tabla base de datos del sistema.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Durante la puesta en marcha se logró identificar que fue muy cerca a lo que se pretendía con dicho control propuesto; En este caso se hace referencia al factor más importante que es el control de temperatura en función del error. La implementación del nuevo sistema dará mayor maniobrabilidad en la configuración y modificación de las distintas recetas de teñido a comparación con sistema antiguo que se implementaba, que solo se lograba almacenar una sola receta, y las variaciones eran constantes y a experticia del técnico operario. Además, en continuo con esto se logró reutilizar la maquinaria existente gracias a los recursos tecnológicos de hoy en día, logando brindar un mejor proceso con una idea de automatización y la programación lógica los que ayudaron a cumplir con los requerimientos deseados del proceso.

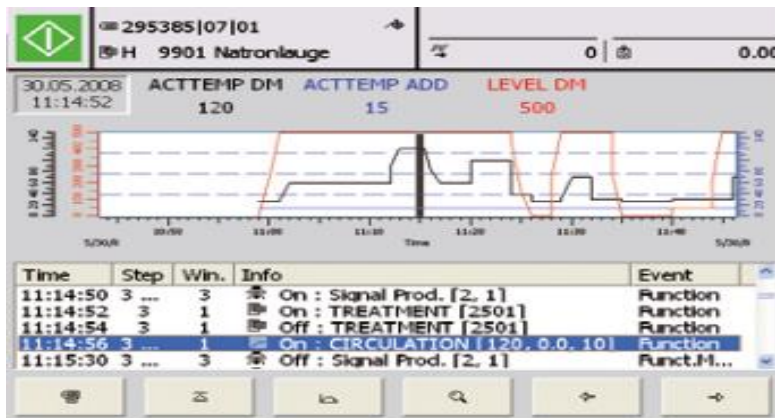
Para iniciar el proceso de teñido en la autoclave se logró identificar una serie de condiciones iniciales que se deben de cumplir como protocolo de seguridad, las cuales fueron las siguientes:

1. verificar el cierre completo de tapa del tanque principal.
2. Asegurar que la tapa del tanque por medio del pistón de seguridad.
3. Verificar que las válvulas y llaves de drenaje manual y automáticas estén cerradas.
4. Asegurar la apertura de la llave despresurización.
5. verificar en pantalla que los niveles bajos de la máquina y del tanque auxiliar estén posición on.
6. No debe haber alarmas ni fallas mostradas.
7. Verificar que todos los paros de emergencia no deben estar presionados.
8. Verificar que la temperatura no esté por debajo de los 60°C.

El cumplimiento de estos procedimientos se adoptó de forma empírica, la cual fue aprobada por parte del personal de supervisión de la empresa Tintorex.

Seguidamente se da paso a mencionar una serie de imágenes con su respectiva característica las cuales son objeto de resultado del control hecho por la empresa Prosys control SAS a la maquina autoclave.

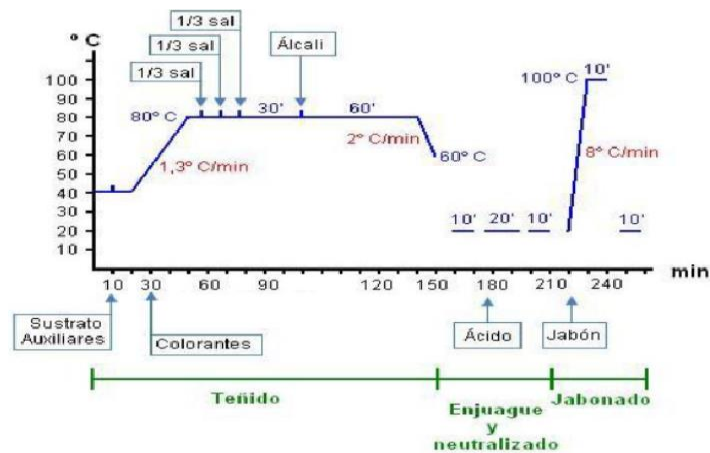
En la siguiente figura 12 se puede visualizar los registros de una curva de receta de teñido, un proceso físico - químico que es realizado en la autoclave, para que los colorantes y químicos interactúen con la tela, hilo o madeja y pueda obtener el producto teñido. Allí se puede observar una línea negra identifica la temperatura de la receta en el proceso, la cual es de vital importancia para la toma de decisiones sobre el mismo proceso de producción ya que se observa el punto inicial del proceso (temperatura de inicio y tiempo) y la velocidad de subida o descenso de la temperatura en un tiempo determinado.



Logging view

**Figura 12:** Sistema data logging del resultado final, prueba inicial.

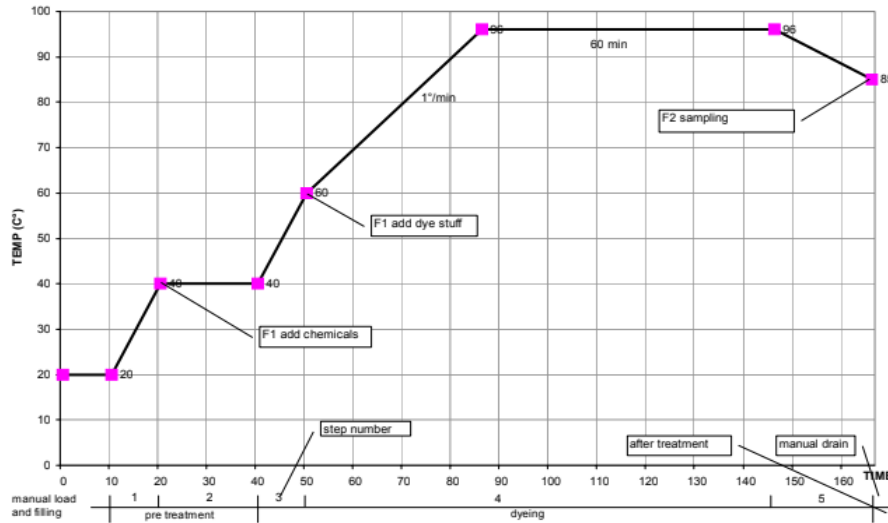
A continuación, se da un ejemplo de una forma de más simple de una curva de teñido, cuyo eje horizontal es el tiempo que dura la receta, y el eje vertical es la temperatura.



**Figura 13:** Ejemplo de curva de teñido.

**Fuente:** (Lavado, 2012).

En la siguiente Figura 14 se observa la trayectoria del proceso y una receta programada para el teñido de un hilo calibre 70/2, donde el personal de producción de la empresa Tintorex SAS cuenta con una hoja de teñido elaborada por el laboratorio y aplica una serie de pasos para ejecutar un lote de producción. Allí se observa los valores de la temperatura que se desea alcanzar o mantener primordial para el proceso de teñido.



**Figura 14:** Curva de teñido de producción diseñada por la de la empresa Tintorex.

El diseño e implementación de todo el sistema en general se cumplió en su totalidad, se entregó un mejor control de la máquina en estado estable, además las seguridades de la máquina mejoraron considerablemente y por ende mejoraron la calidad de los productos; la máquina autoclave con el nuevo sistema está en capacidad de corregir los errores de temperatura y de avisarle al técnico operador en la pantalla donde están las fallas que se están cometiendo. Además, con la base de datos se puede verificar los estados más importantes de todo el sistema y así mismo aguardándolos en el área de producción.

En la siguiente figura 15 se evidencia los avances del gabinete de la máquina cuando se realizaba el trabajo de cableado eléctrico.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 15:** Avances del cableado de control (imagen capturada por el autor).

Seguidamente los resultados obtenidos de la calibración manual que se realizó por el método de tanteo o empírico mencionado anteriormente.

El método realizado para este proceso es modificar las constantes  $K_p$  y  $K_i$  que se ajustan en los registros del controlador SEDO para sintonizar el sistema PI, estos valores de registros van de 0 a 1000 en valor de PLC y sus valores de calibración fueron los siguientes:

$$K_p = 104,98$$

$$K_i = 52,49$$

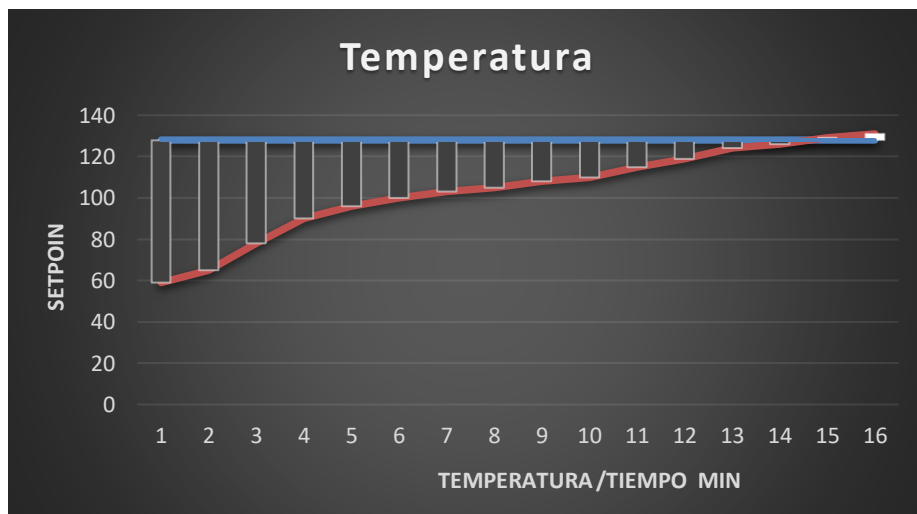
La acción proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional para lograr que el error en estado estacionario se aproxime a cero, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, es incluyendo la acción integral.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La función principal de la acción integral es asegurar que la salida del proceso concuerde con la referencia en estado estacionario. Con el controlador proporcional, normalmente existiría un error en estado estacionario. Con la acción integral, un pequeño error positivo siempre producirá un incremento en la señal de control y, un error negativo siempre dará una señal decreciente sin importar cuán pequeño sea el error.

De la siguiente figura 16 que se muestra a continuación se puede resaltar que el sistema alcanza la temperatura deseada a los 15 minutos partiendo de 60 grados centígrados. Con un gradiente de 2 grados por minuto programado en los registros internos del PLC.



**Figura 16:** Puntos de calibración manual (realizada por el autor).

En la interface del programa en marcha, se realizó una vista a las recetas en funcionamiento, con el fin de mostrar las operaciones de la maquina autoclave en paralelo con el tanque auxiliar; este es un proceso de ensayo que se realizó para probar las revoluciones de la bomba.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

HEAT/COOL 1*	0	DOS TK 1 Linear	
OPERATORCALL SAMPLE		OPERATORCALL SAMPLE	
CIRCULATE 20.0		INJECT TK 1 MACHINE	
DRAINING 1			
PROG END			

Program view

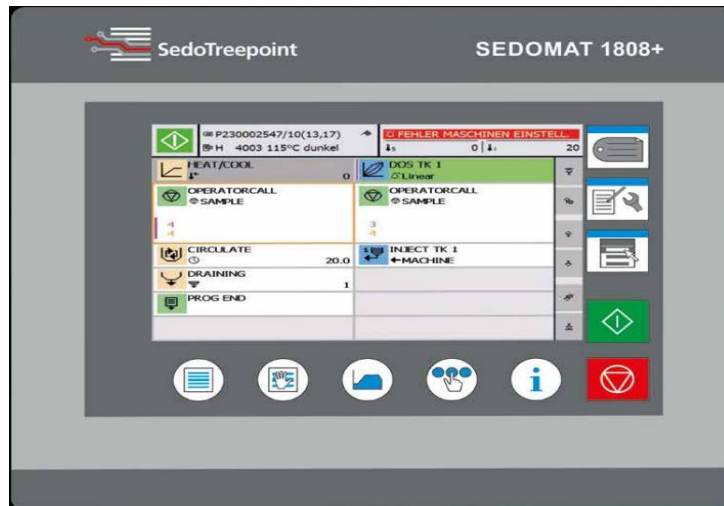
**Figura 17:** Receta en línea (realizada por el autor).

EL proceso de teñido deberá incrementar su automatismo mediante la automatización del proceso a las funciones conocidas anteriormente (temperatura, tiempo). En donde el aumento de estas funciones eliminará el manejo manual al finalizar un paso del proceso y cuando se requiera hacer algún cambio interno. El modo autómatas deberá permitir al operario realizar el proceso de teñido de una forma continua, siendo solo necesaria la intervención humana en ciertos puntos como (ingreso de químicos o tintes), donde el sistema de control y la maquinaria no tenga alcance suficiente y no pueda continuar o resolver bajo la lógica de programación.

La administración y modo de operación de la interfaz humana máquina que se da entre el personal operario y el sistema de control automático tiene como fundamento la mayor sencillez posible, fácil de maniobrar, rápida deducción acerca del uso y debe ser muy amigable con el manejo de los procedimientos.

En la siguiente figura 18 se puede observar el panel de control implementado con un proceso en marcha.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 18:** HMI implementada con un proceso de puesta en marcha (realizada por el autor).

Seguidamente después de realizar la conexión de la parte de potencia de los actuadores y elementos finales de control, se realizó una toma de evidencia de la conexión de entradas y salidas. Todas las entradas son directamente obtenidas desde el mando principal, mientras que las salidas están conectadas a relés de interfaz VDC con el fin de conmutar las señales y proteger las salidas físicas del PLC SEDO TREEPOINT.



**Figura 19:** Entradas y salidas (elaboradas por el autor)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Seguidamente se evidencia el resultado final de la maquina con todo el sistema funcionando, las siguientes imágenes involucran el estado final de maquina autoclave de teñido y algunos actuadores.



**Figura 20:** Pantalla implementada instalada sedomat 1800 (realizada por el autor).



**Figura 21:** Pantalla implementada sedomat 1800 instalada en gabinete (realizada por el autor).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la siguiente figura 22 se puede observar el tanque auxiliar con el mezclador propio para la preparación de los químicos y las tinturas. Este es el espacio y lugar donde el operador también ingresa los respectivos sales y minerales para hacer los lavados internos de la máquina, cuando se acumulan algunos residuos de otros químicos los cuales pueden llegar alterar los procesos.



**Figura 22:** Tanque auxiliar y mezclador. (capturada por el autor).

A continuación, se evidencia el estado final de la maquina autoclave para teñido de tela, con los instrumentos nuevos implementados para obtener el resultado y los objetivos principales.



**Figura 22:** Maquina autoclave de teñido, estado final (capturada por el autor).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- El nuevo sistema de control automático es una solución viablemente económica para la empresa Tintorex, mejorando considerablemente las prestaciones, eficiencia, rentabilidad en proceso productivo, y supervisión de los parámetros a controlar, además beneficios en la toma de decisiones estratégicas y operativas reduciendo costos y cuidado del medio ambiente. Hoy en día se aplica en el mercado actual de la industria textil y en los diferentes sectores, creando sistemas más eficientes para proyectar a corto plazo, beneficio para empresas con la optimización de sus procesos productivos y mejoramiento de las capacidades del recurso humano.
- Además de mejorar las condiciones de seguridad y precisión en el proceso de teñido de tela y de hilo, se obtuvo la opción de programar varias recetas fijas y modificables; el proceso se realiza mediante una pantalla donde se ingresen los valores deseados de las variables a controlar, de tal manera que se mejore la calidad del producto terminado.
- El cambio del sistema de control antiguo por el nuevo sistema de control propuesto ofrecerá mayor automatismo al proceso, mayor eficiencia en el tratamiento de la materia prima, mayor velocidad de producción, mejor calidad de la producción, un mayor control de todas las variables involucradas, mayor seguridad en la manipulación del proceso, un ahorro energético, económico y aprovechamiento del personal operario.
- La implementación del nuevo sistema dará mayor maniobrabilidad en el almacenado, configuración y modificación de las distintas recetas de teñido a comparación del sistema antiguo que almacena una sola receta, este cambio es buscado desde hace tiempo lo que concibe la oportunidad para realizarlo.
- La industria textil es uno de los sectores de mayor promoción y crecimiento en la última década, el fuerte de la exportación de los productos manufacturados a base

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de fibra y los nuevos tratados de libre comercio, convierten a las empresas Textil en uno de los sectores económicos de mayor crecimiento en Colombia. Los nuevos mercados y la demanda existente, exige la implementación y uso intensivo de tecnología de punta para el procesamiento de las materias primas. La inversión en proyectos de mejoramiento del control automático representa una solución viable, ya que puede dar una mejor adaptación y cubrir todas las áreas propias de la autoclave. Se podrá re utilizar la maquinaria existente y cumplir con los requerimientos deseados del proceso.

#### RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO:

- Realizar mantenimiento cada 2 meses al sistema neumático ya que este presenta fallas por caídas de presión constantes.
- En la caldera observamos caídas de vapor cuando se prenden varias máquinas al mismo tiempo, la recomendación es que se debe de hacer unas divisiones de cargas de vapor para mejorar este tema.
- Realizar con control de PH aparte que les garanticen el buen cuidado al medio ambiente cuando estas aguas sobrantes sean expulsadas hacia el rio.
- El sistema implementado fue exitoso por que se cumplieron los objetivos planteados anteriormente.
- Al instalar las válvulas proporcionales se mejoró contantemente el control de temperatura, dándole mejor estabilidad y precisión.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

Guoxin, L. (2015). Aplicación de OPC para realizar las comunicaciones entre WinCC y Master-Slave PLC en la red PROFIBUS. *IEEE*, 3-9.

Jones, G. (1990). Un sistema SCADA de bajo coste para hornos y hornos. *IET*, 1.

Lavado, F. E. (2012). V. *LA INDUSTRIA TEXTIL Y SU CONTROL CALIDAD tintoreria* . BUDETEX industrial y trading Co.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna. Tercera edición*. . Madrid: Prentice Hall, PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

Pinto, V. (2007). Procesos industriales controlados por PLC simulador en línea. *IEEE*, 4-8.

Scotti, W. A. (2015). Modular and systematic design of supervisory control system integrating PLC, SCADA and task routing for a modular production system. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (págs. 1-6). Gothenburg, Sweden: IEEE xplore.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_      ACEPTADO\_\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_