

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Profesor Patrocinante**  
Dr. Emilio Dufeu Delarze

**Ingeniero Supervisor**  
Christian Hernández Rivas

**REEMPLAZO DEL SISTEMA DE CONTROL  
DEL AUTOCLAVE DE LA LÍNEA  
DE VIDRIO LAMINADO**

**César H. Ramírez Araya**

Informe de Memoria de Título  
para optar al Título de

**Ingeniero Civil Mecánico**

Junio 2000

## SUMARIO

El sistema de control actual del autoclave de la línea de vidrio laminado de la empresa Vidrios Lirquén S.A. está constituido principalmente por un controlador de temperatura programable, presostatos y lógica cableada (de relés). Este sistema presenta el inconveniente de ofrecer poca flexibilidad para modificar las curvas de referencia (*set point*) de temperatura y presión, lo cual se traduce en dificultades para modificar las incorformidades que existen en el funcionamiento del equipo. Un sistema de control basado en un Controlador Lógico Programable (PLC) subsanaría esta deficiencia al ofrecer mayor flexibilidad a modificaciones y además una mayor gama de funciones.

El objetivo de este trabajo consiste en verificar si es factible reemplazar los controladores de proceso del autoclave de la línea de vidrio laminado por un PLC. Para alcanzar este objetivo se debe diseñar un programa para PLC de tal forma que reemplace las acciones de los controladores de proceso actuales.

Los pasos realizados para conseguir este objetivo son: 1) conocer el proceso de laminado y proceso de autoclave; 2) conocer el equipo Autoclave de laminado y su operación; 3) conocer el sistema de control actual en forma detallada; 3) conocer el PLC disponible para el proyecto; 5) evaluar la factibilidad de que el PLC reemplace los controladores de proceso actuales; 6) crear el programa para PLC que reemplace el sistema de control actual.

Para conocer el sistema actual se hizo uso de: 1) los manuales de operación del equipo; 2) la interpretación de los planos eléctricos del sistema de control; 3) la observación del equipo en operación y de sus componentes; 4) los manuales de operación de los controladores actuales;

sistema de adquisición de datos computacional que monitorea al autoclave y 6) el esclarecimiento en terreno de las dudas surgidas.

El PLC seleccionado para el proyecto fue un Siemens S7-200 CPU 216 con entradas DC, salidas de relé DC/AC, 24 entradas digitales / 16 salidas digitales. Se añadieron un módulo de ampliación de 3 entradas analógicas de 12 bits, un módulo de ampliación de 2 salidas analógicas de 12 bits y una interfaz con 2 líneas de 20 caracteres cada una y 8 teclas programables para comunicar el PLC con el operador.

Se concluyó que la modificación del sistema de control del autoclave mediante la implementación de un PLC en reemplazo de los controladores de temperatura y presión actuales es factible, pues el PLC cuenta con las características suficientes para la programación sin problemas de la lógica del proceso, la generación de las curvas de referencia y las acciones de control del sistema original.

Se creó programa para el PLC que logra reemplazar los controladores de temperatura y presión en cuanto a la generación de las curvas de referencia y las acciones de control. Este programa además incluye: parte de la lógica de proceso que actualmente está constituida por cables y relés, subrutinas que contienen parámetros para caracterizar distintas curvas de referencia, la habilitación del proceso de evaporación para la mantención del equipo, y rutinas de manejo de la interfaz de usuario. Entre las capacidades de la interfaz programadas en el PLC se cuentan: un sistema de menús para la selección de curvas de proceso, partida en cualquier punto del proceso (en caso de emergencia como un corte de energía), valores en pantalla de las variables del proceso y aborto del proceso.

Se generaron diagramas que contienen las modificaciones al sistema eléctrico de control.

## ÍNDICE

<b>SUMARIO</b>	<b>2</b>
<hr/>	
<b>ÍNDICE</b>	<b>6</b>
<hr/>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<hr/>	
1.1 PRESENTACIÓN DEL TEMA: ORIGEN DE LA IDEA	7
1.2 OBJETIVO GENERAL	8
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.4 METODOLOGÍA	8
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE AUTOCLAVE COMO FASE FINAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE VIDRIO LAMINADO</b>	<b>9</b>
<hr/>	
2.1 PRELAMINADO	9
2.2 FASE FINAL EN AUTOCLAVE	9
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE AUTOCLAVE DE LAMINADO</b>	<b>10</b>
<hr/>	
3.1 FUNCIONES DEL AUTOCLAVE	10
3.2 CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA DE AUTOCLAVE	10
3.3 CONSTITUCIÓN DEL AUTOCLAVE DE LAMINADO	11
3.4 EQUIPO DE CONTROL DEL PROCESO	12
3.5 EQUIPAMIENTO PARA LA SEGURIDAD DEL EQUIPO, DE OPERADORES Y DE LA CARGA DE VIDRIOS	12
3.6 PROCESO DE AUTOCLAVE	12
3.6.1 PROCESO DE AUTOCLAVE ACTUAL:	12

3.6.3	CURVAS DE REFERENCIA DE TEMPERATURA Y PRESIÓN A SEGUIR POR EL PROCESO Y DIAGRAMA DE TIEMPO DE LA ACCIÓN DE LOS ACTUADORES DEL SISTEMA	14
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL ACTUAL DEL AUTOCLAVE</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>CONTROL ACTUAL DE LA TEMPERATURA</b>	<b>18</b>
4.1.1	DESCRIPCIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA ACTUAL	18
4.1.2	CURVAS DE REFERENCIA PROGRAMADAS EN EL CONTROLADOR	18
<b>4.2</b>	<b>CONTROL ACTUAL DE LA PRESIÓN</b>	<b>18</b>
4.2.1	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DE LA PRESIÓN	22
4.2.2	CONTROLADORES DE PRESIÓN ACTUALES: FUNCIONAMIENTO	22
<b>4.3</b>	<b>CRONOGRAMA DE ESTADO DE LAS VARIABLES DIGITALES DEL PROCESO DE AUTOCLAVE ACTUAL</b>	<b>22</b>
4.3.1	LISTADO Y DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS IMPORTANTES EN LA LÓGICA DEL PROCESO MOSTRADOS EN EL CRONOGRAMA	26
4.3.2	LISTADO Y DESCRIPCIÓN DE OTROS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL	27
<b>5.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PLC SELECCIONADO PARA EL PROYECTO</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DEL PLC Y CRITERIOS DE SELECCIÓN</b>	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>FUNCIONAMIENTO DEL PLC SIEMENS S7-200 CPU 216</b>	<b>30</b>
5.2.1	EL CICLO DE LA CPU	30
5.2.2	ESTRUCTURA DEL PROGRAMA	32
5.2.3	PROGRAMACIÓN DEL PLC	32
5.2.4	AREAS DE MEMORIA Y DIRECCIONAMIENTO DE LOS DATOS	33
5.2.5	DIRECCIONES DE MEMORIA UTILIZADAS POR LA INTERFAZ DE USUARIO TD-200	36
5.2.6	USO DE PC Y SOFTWARE STEP 7-MICRO/WIN PARA ESCRIBIR EL PROGRAMA PARA LA APLICACIÓN DE CONTROL.	37
<b>6.</b>	<b>NUEVO SISTEMA DE CONTROL</b>	<b>39</b>
<b>6.1</b>	<b>MODIFICACIONES ELÉCTRICAS: ENTRADAS/SALIDAS DEL PLC</b>	<b>39</b>
<b>6.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO BAJO NUEVAS CONDICIONES DE CONTROL</b>	<b>39</b>

		6
6.3.2	FILTRADO DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS	44
6.3.3	ESCALADO (LINEALIZADO) DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS	45
6.3.4	CONTROL DE LA TEMPERATURA	46
	· Parámetros que caracterizan la curva de referencia de temperatura	46
	· Generación de la referencia de temperatura:	47
	· Diagrama de flujo del ciclo de proceso.	51
	· Diagrama de flujo control de temperatura.	52
6.3.5	CONTROL DE LA PRESIÓN	54
	· Cálculo de la temperatura de inicio de llenado	54
	· Presostato como programa en PLC:	55
	· Diagrama de flujo control de la presión.	56
6.3.6	INTERFAZ DE USUARIO TD-200	57
	· Configuración TD-200	57
	· Capacidades programadas en PLC para Interfaz de Usuario TD-200	57
	· Menú principal fuera de proceso	58
	· Menú principal fuera de proceso: Detalles	61
	· Mensajes en la interfaz TD-200 durante el proceso de autoclave.	67
<b>7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>		<b>69</b>
<b>8. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES</b>		<b>71</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>72</b>

**ANEXO A: IMÁGENES Y PLANOS DEL AUTOCLAVE** **74**

---

**ANEXO B: DATOS TÉCNICOS DEL PLC** **76**

---

**ANEXO C: DIRECCIONAMIENTO DE LOS DATOS** **80**

---

**ANEXO D: OPERACIONES DE PROGRAMA (JUEGO DE OPERACIONES)** **83**

---

**ANEXO E: PLANOS ELÉCTRICOS MODIFICADOS DEL SISTEMA DE CONTROL  
CONTRASTADOS CON LOS ORIGINALES** **87**

---

**ANEXO F: DOCUMENTOS DEL PROGRAMA DEL PROYECTO EN PLC SIEMENS S7-200 CPU**  
**216** **108**

---