



**Diseño e Implementación de un Sistema de Supervisión y Control para el Proceso de Vidrio
Laminado para la Planta AGP Colombia de Bogotá**

Brayan David Amaya Guevara

Código: 11291612974

Jhon Sebastián Virviescas Rincón

Código: 11291927762

Universidad Antonio Nariño

Ingeniería en Control y Automatización Industrial
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2022

Diseño e Implementación de un Sistema de Supervisión y Control para el Proceso de Vidrio Laminado para la Planta AGP Colombia de Bogotá

Brayan David Amaya Guevara
Jhon Sebastián Virviescas Rincón

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero en Control y Automatización industrial

Director (a):
Ingeniero Carlos Arturo García Gómez

Universidad Antonio Nariño
Ingeniería en Control y Automatización Industrial
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá, Colombia
2022

Tabla de Contenido

Resumen.....	5
Abstract.....	6
1. Introducción.....	7
1.1. Planteamiento del Problema	8
1.2. Justificación	9
1.3. Objetivos.....	9
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	9
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	10
2. Marco Teórico.....	11
2.1. Historia.....	11
2.1.1. <i>Tecnologías de Elaboración de Vidrio Laminado</i>	12
2.1.2. <i>Máquinas de Laminación de Vidrio</i>	14
2.2. Estudio del Proceso de Laminación de Vidrio a Través de la Autoclave	15
2.3. Sistemas de Control Automático	17
2.3.1. <i>Controlador</i>	18
2.3.2. <i>Controlador PID</i>	19
2.4. Sistemas SCADA.....	20
2.4.1. <i>Software de Diseño CAD</i>	21
2.4.2. <i>Software de Implementación de Sistemas SCADA</i>	21
2.4.3. <i>PLC</i>	24
2.4.4. <i>Lenguajes de Programación</i>	26
2.4.5. <i>Protocolos de Comunicación</i>	27
3. Desarrollo Metodológico	29
3.1. Planeación del Proyecto.....	29
3.1.1. <i>Visitas Técnicas</i>	29
3.1.2. <i>Recolección de Información e Identificación del Problema</i>	30
3.1.3. <i>Estudio de la Documentación</i>	30
3.1.4. <i>Elaboración de Planos Eléctricos</i>	31
3.1.5. <i>Selección de Componentes para Sistema de Supervisión y Control</i>	32
3.2. Análisis para la Implementación del Sistema de Calentamiento	32
3.2.1. <i>Selección de Componentes para el Sistema de Calentamiento</i>	34
3.2.2. <i>Contactor Tripolar 65 A Schneider Bobina 220 VAC</i>	36
3.2.4. <i>Sensor Termocupla Tipo K</i>	37
3.2.5. <i>Relevos Tipo Slim 24 VDC (Relpol) 5 Pines</i>	37
3.3. Análisis para la Implementación del Sistema de Enfriamiento	38
3.3.1. <i>Selección de Componentes para el Sistema de Enfriamiento</i>	38
3.4. Análisis para la Implementación del Sistema de Presión	39
3.4.1. <i>Selección de Componentes para Sistema de Presión</i>	39

3.5.	Análisis para la Implementación del Sistema de Vacío.....	40
3.5.1.	<i>Selección de Componentes para el Sistema de Vacío</i>	41
3.6.	Cotización de Materiales y Mano de Obra	42
3.6.1.	<i>Aprobación de la Cotización</i>	43
3.6.2.	<i>Compra de Equipos y Materiales</i>	43
3.7.	Montaje e Instalación de Equipos	44
3.8.	Comunicación de Equipos PLC y EZ-ZONE RM.....	44
3.8.1.	<i>Comunicación PC - PLC Delta DVP 12-SE</i>	44
3.8.2.	<i>Comunicación EZ-ZONE RM</i>	45
3.9.	Programación PLC Delta DVP-12SE	47
3.10.	Programación RM Watlow.....	48
3.10.1.	<i>Programación Módulo RMA</i>	49
3.10.2.	<i>Programación Módulo RMS</i>	49
3.11.	Diseño y Programación iFIX SCADA	49
3.11.1.	<i>Descarga e Instalación iFIX SCADA y Drivers</i>	50
3.11.2.	<i>Diseño de Interfaz</i>	50
3.11.3.	<i>Pantallas IFIX SCADA</i>	52
3.11.4.	<i>Configuración Drivers de Comunicación</i>	55
3.11.5.	<i>Comunicación PLC DELTA y RM WATLOW – iFIX SCADA</i>	55
3.11.6.	<i>Comunicación Modbus PLC – RM WATLOW con IFIX SCADA</i> .	55
3.12.	Puesta en Marcha	56
3.13.	Implementacion del Software GE DIGITAL Historian para Análisis de Datos.	58
4.	Análisis de Resultados	59
4.1.	Análisis de Resultados de la Variable de Temperatura	59
4.2.	Análisis de Resultados de la Variable Presión.....	60
4.3.	Análisis de los Resultados de la Variable Vacío	62
4.5.	Entrega del Proyecto a la Empresa AGP Colombia.....	63
5.	Conclusiones	63
	Referencias Bibliográficas	65

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Composición de Vidrio Laminado PVB [11].</i>	12
Figura 2. <i>Rotura de los Diferentes Tipos de Vidrio [13].</i>	13
Figura 3. <i>Maquinaria Línea de Producción de Vidrio Laminado [18].</i>	14
Figura 4. <i>CNC de Alta Calidad de Corte de Vidrio [20].</i>	15
Figura 5. <i>Máquina Autoclave Scholz Maschinenbau [22].</i>	15
Figura 6. <i>Diagrama de Bloques de un Sistema en Lazo Abierto [31].</i>	17
Figura 7. <i>Diagrama de Bloques de un Sistema en Lazo Cerrado [32].</i>	18
Figura 8. <i>Sistema de Control en Lazo Cerrado con Control PID [37].</i>	20
Figura 9. <i>Pantalla de Diseño de IFIX SCADA [41].</i>	22
Figura 10. <i>GE Digital HMI/SCADA Cimplicity [44].</i>	23
Figura 11. <i>PLC DPV-12SE [46].</i>	25
Figura 12. <i>Estructura Física de un PLC [46].</i>	26
Figura 13. <i>Lenguaje Visual y Escrito de PLC [47].</i>	26
Figura 14. <i>Plan de Trabajo y Ejecución del Proyecto.</i>	29
Figura 15. <i>Maquina Autoclave Empresa AGP, Toma Exterior e Interior.</i>	30
Figura 16. <i>Listado de Planos Eléctricos.</i>	32
Figura 17. <i>Adecuación de Resistencias de Calentamiento.</i>	33
Figura 18. <i>Diagrama de Conexión en Triangulo para las Zonas de Calentamiento.</i>	34
Figura 19. <i>Controlador Watlow DIN-A-MITE [42].</i>	35
Figura 20. <i>Especificaciones Técnicas Controlador Watlow DIN-A-MITE [42].</i>	35
Figura 21. <i>Conexión Watlow DIN-A-MITE en Tablero de Potencia.</i>	35
Figura 22. <i>Controlador EZ-ZONE RM [42].</i>	36
Figura 23. <i>Contactador Tripolar Schneider [51].</i>	36
Figura 24. <i>Fusibles 50 A [52].</i>	37
Figura 25. <i>Termocupla Industrial Tipo K [53].</i>	37
Figura 26. <i>Relevos Relpol Tipo Slim [54].</i>	37
Figura 27. <i>Cuarto de Bombas de la Empresa AGP.</i>	38
Figura 28. <i>Contactador Tripolar 18 A Schneider Electric [51].</i>	39
Figura 29. <i>Válvula Modulante de Dos Pulgadas con Actuador de Aire para Entrada y Salida.</i> 39	
Figura 30. <i>Transmisor de Presión [55].</i>	40

Figura 31. <i>Compresor Automático</i>	40
Figura 32. <i>Transmisor de Presión de Vacío</i>	41
Figura 33. <i>Puntos de Vacío</i>	41
Figura 34. <i>Control Variable de Vacío</i>	42
Figura 35. <i>Conexiones Puntos de Vacío</i>	42
Figura 36. <i>Proceso de Aprobación de Cotización</i>	43
Figura 37. <i>Etapas de Comunicación de PLC</i>	44
Figura 38. <i>Configuración de Puertos PLC- Ordenador</i>	45
Figura 39. <i>Configuración EZ-ZONE RM</i>	46
Figura 40. <i>Forma de Conexión Convertidor 485</i>	46
Figura 41. <i>Conexión del Controlador EZ-ZONE RM</i>	47
Figura 42. <i>Comprobación Comunicación Sistema – Ordenador</i>	50
Figura 43. <i>Diseño del Sistema SCADA</i>	52
Figura 44. <i>Seguimiento Sistema SCADA</i>	52
Figura 45. <i>Pantalla Seguimiento SCADA</i>	53
Figura 46. <i>Comprobación de Alarmas</i>	54
Figura 47. <i>Calibración del iFIX SCADA</i>	54
Figura 48. <i>Protocolo Modbus</i>	56
Figura 49. <i>Designación de Direcciones</i>	56
Figura 50. <i>Puesta en Marcha del Proceso</i>	58
Figura 51. <i>Comunicación Entre IFIX SCADA y GE HISTORIAN</i>	59
Figura 52. <i>Comportamiento del Proceso Manual Vs Automático</i>	60
Figura 53. <i>Comportamiento De La Variable De Presión Mediante Control On/Off</i>	61
Figura 54. <i>Comportamiento de la Variable de Presión Mediante Control PID</i>	61
Figura 55. <i>Comportamiento Variable de Vacío</i>	62
Figura 56. <i>Consumo de Energía Autoclave Año 2022</i>	62

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Tipos de Controladores.</i>	19
Tabla 2. <i>Lenguajes de Programación para PLC.</i>	27
Tabla 3. <i>Valores Requeridos para el Proceso de Calentamiento.</i>	33
Tabla 4. <i>Especificaciones del Relevó Relpol Tipo Slim.</i>	38
Tabla 5. <i>Datos Sistema de Enfriamiento.</i>	38
Tabla 6. <i>Datos sistema de presión.</i>	39
Tabla 7. <i>Especificaciones Sistema de Vacío.</i>	41
Tabla 9. <i>Parámetros de SET/POINT del Proceso.</i>	48
Tabla 10. <i>Programación Módulo RMS.</i>	49

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. <i>Potencia Eléctrica.</i>	33
Ecuación 2. <i>Corriente de Fase.</i>	33
Ecuación 3. <i>Corriente de Línea.</i>	34
Ecuación 4. <i>Corriente por Zona de Resistencia.</i>	34
Ecuación 5. <i>Conversión Bar a PSI.</i>	40
Ecuación 6. <i>Conversión mBar a inHg.</i>	41

(Dedicatoria)

Primeramente a Dios quien nos brinda el acompañamiento espiritual y es por el cual hoy estamos vivos y nos permite cumplir uno a uno los sueños, agradecer a nuestros padres que con su compañía incondicional, apoyo económico y personal hicieron que nuestros sueños y propósitos se sigan cumpliendo, por último y no menos importante dedicarle este gran logro y objetivo de la vida profesional a todo el personal docente que nos acompañaron a lo largo de nuestra carrera que con su experiencia, profesionalismo y pedagogía ayudaron para que la formación fuese en pro de la evolución social, económica, personal al momento de enfrentarnos a la industria y poner cada una de esas virtudes en práctica.

Resumen

En este proyecto se propone el desarrollo de un sistema de supervisión y control de las variables: temperatura, presión y vacío, de un proceso de fabricación de vidrio laminado para la planta AGP Colombia de la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta señales analógicas y digitales involucradas en el proceso para la máquina autoclave 034. Este proyecto tendrá como finalidad mejorar la etapa de laminado de vidrio, logrando aumentar la productividad, optimización, calidad, seguridad y eficiencia en el producto final.

La implementación del sistema de supervisión y control, se realizó mediante el uso del software IFIX-SCADA, con el cual, es posible interactuar, controlar, evaluar y ejecutar los procesos de fabricación de forma automática, además, se tuvo en cuenta el apoyo de las diferentes herramientas tecnológicas necesarias para la interacción de cada equipo y componente electrónico dentro del proceso, siendo así una innovación dentro de la planta AGP Colombia, cambiando los estereotipos y maneras de realizar el seguimiento del proceso, generando un gran impacto social, empresarial, económico y tecnológico.

Palabras Clave: Automatización, Control, SCADA, Temperatura, Presión, Vacío, Proceso, Vidrio laminado.

Abstract

This project proposes the development of a monitoring and control system for the variables: temperature, pressure and vacuum, of a laminated glass manufacturing process for the AGP Colombia plant in the city of Bogota, taking into account analog and digital signals involved in the process for the autoclave 034 machine. This project will aim to improve the glass lamination stage, increasing productivity, optimization, quality, safety and efficiency in the final product.

The implementation of the supervision and control system was carried out through the use of IFIX-SCADA software, with which it is possible to interact, control, evaluate and execute the manufacturing processes automatically, in addition, it was taken into account the support of the different technological tools necessary for the interaction of each equipment and electronic component within the process, thus being an innovation within the AGP Colombia plant, changing the stereotypes and ways of monitoring the process, generating a great social, business, economic and technological impact.

Keywords: Automation, Control, SCADA, Temperature, Pressure, Vacuum, Process, Laminated glass.

1. Introducción

Los sistemas de automatización son base fundamental para cualquier proceso de optimización de tareas y actividades en una planta industrial de manera controlada, ya que con el avance tecnológico, la globalización y la incorporación de la ciencia; en las empresas industriales se tendrá que afrontar el completo control programado de todas las etapas de producción y cada una de las actividades a ejecutar en una planta [2].

Es por ello, que en Colombia en los últimos años se ha potencializado la implementación y adquisición de nuevos sistemas de optimización de actividades en el sector industrial. Con lo anterior, Colombia se ha convertido en unos de los países con mayor interacción y manejo de los últimos sistemas de automatización industrial, adquiriendo las últimas innovaciones tecnológicas que se encuentran en el mercado, así como la manipulación y conocimiento de nuevos sistemas de control en el ámbito industrial [3]. Así mismo, con los avances tecnológicos mediante la implementación de estos sistemas, se logra controlar los procesos de manera remota ya sea por medio de la red de internet o de otras maneras de conexión, pero dado a estas nuevas soluciones de compartir o intervenir los procesos de una empresa hace que tengan un gran riesgo en cuanto a los ataques digitales e informáticos que puedan estar expuestos [4].

El uso de los sistemas SCADA trae numerosos beneficios para cualquier tipo de aplicativo industrial, logrando la creación de proyectos a gran escala y cada vez más complejos por medio de los sistemas de automatización y control, que permiten controlar gran variedad de tareas, dispositivos, plantas, datos, variables, y procesos en general, teniendo un fin principal: la visibilidad de cada una de las etapas ya sea de producción, ejecución, o mantenimiento de una empresa y tomando datos en tiempo real para que el proceso controlado sea cada vez más eficiente [5].

En años anteriores, se realizaban pruebas de campo o experimentos para evaluar la resistencia de los vidrios y fue por ello cuando el químico francés Edouard Benedictus, al dejar caer una botella con nitrato de celulosa, identificó que a pesar que se rompió la botella, los fragmentos quedaban unidos. Con ello, surge la fabricación de los vidrios de seguridad uniendo dos o más capas de vidrio por medio de una película intermedia, que es la que se encarga de que los fragmentos o partes de vidrio no queden en partes fracturadas [6]. El cumplimiento de un proceso de fabricación de vidrio laminado, con los requerimientos estipulados, se logra por medio de una máquina

autoclave, que es el dispositivo hermético donde al control de altas temperaturas logra realizar un cambio en cada una de las materias primas. Así mismo, el proceso de fabricación de vidrio laminado, cumple con una serie de etapas para el cumplimiento de una serie de parámetros, y estándares de calidad que el producto requiere por su complejidad en su aplicación dentro de las principales etapas del proceso, desde que se recibe la materia prima, área de corte, embolsado y despresurización, que son tareas previas al ingresar a la autoclave para convertir el vidrio en vidrio laminado, mediante procesos térmicos que se realizan al interior de la máquina de la autoclave. En AGP siendo una de las grandes industrias a nivel mundial que se encarga de fabricar vidrios de seguridad, con una gran experiencia en el mercado automotriz, marítimo y de seguridad, cuenta con siete plantas de producción de vidrio laminado y una amplia comercialización de sus productos en más de 20 países, convirtiéndose en la mejor marca del mercado debido a que el 50% de sus producciones, son exportadas por fuera de América Latina. Es una empresa internacional que llega a Bogotá, Colombia en 1989 como segunda planta de fabricación a nivel mundial, especializándose en la producción de vidrio laminado para el mercado automotriz como primera línea de negocio. AGP en la actualidad, se ha encargado de descubrir, estudiar y evolucionar el futuro de la movilidad en cuanto al acristalamiento de vehículos [7]. Con el paso del tiempo y con el fin de adquirir nuevas implementaciones, en el mercado industrial del vidrio laminado y con la reconversión tecnológica, se busca aprovechar al máximo las nuevas tecnologías en cuanto a la automatización de procesos industriales con el objetivo de potencializar la productividad, evolucionando en las actividades manuales y logrando innovar a nuevos sistemas automáticos aplicados en la industria [2].

1.1. Planteamiento del Problema

La empresa AGP de Colombia cuenta actualmente con una máquina autoclave 034, la cual realiza el proceso de laminado de vidrio de forma manual, generando inconvenientes en el proceso afectando la seguridad, la productividad y la calidad del producto. La magnitud del proyecto pretende abarcar varias etapas, cuya finalidad es garantizar el funcionamiento del proceso de manera automática y así mismo poder controlar, monitorear en tiempo real y tomar el registro histórico de las variables principales del proceso, esto con el fin de asegurar los estándares de calidad del producto. Por lo anterior, se es necesario implementar un sistema SCADA que permita

innovar, evolucionar y mejorar las actividades involucradas en el proceso de fabricación del vidrio laminado.

1.2. Justificación

Este proyecto surge a partir de la necesidad de la empresa AGP Colombia de implementar nuevas tecnologías, con el fin de garantizar y aumentar los estándares de calidad de la fabricación de vidrio laminado, disminuyendo el número de actividades manuales de la máquina autoclave 034, para incrementar la productividad y por ende la competitividad en el mercado. De igual manera, se busca reducir los índices de accidentabilidad en el trabajo, dado el manejo de altos niveles de temperatura, presión y flujo eléctrico, los cuales han provocado situaciones de emergencia en la empresa.

La elaboración del proceso de manera manual, consta de la disposición de cinco (5) operarios, que se encargan de monitorear cada etapa del proceso y cada uno de los componentes del sistema de supervisión y control, la implementación del sistema SCADA para la fabricación de vidrio laminado, pretende generar la supervisión por parte de un (1) solo operario logrando de esta manera reducir costos de personal y minimizar los riesgos de accidentes laborales, además de garantizar estándares de calidad. Realizando dicha implementación, se podrá obtener una base de datos del comportamiento del proceso, intervenir en tiempo real y mediante la supervisión y el control permanente, elaborar un plan de mantenimiento, preventivo y correctivo.

Es importante resaltar, que la empresa AGP será la encargada de financiar la totalidad del costo del proyecto y los autores se encargarán de realizar el diseño y la implementación del sistema de supervisión y control, obteniendo como logro el título de ingenieros en control y automatización industrial.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de supervisión y control para las variables de temperatura, vacío y presión, que hacen parte del proceso de laminado de vidrio de la máquina autoclave 034 en la empresa AGP Colombia.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Realizar un estudio en detalle del funcionamiento de la máquina autoclave 034 en la fabricación del vidrio laminado, para la caracterización de las variables de temperatura, presión y vacío que se van a monitorear y controlar.
- ✓ Elaborar los planos eléctricos para las conexiones analógicas y digitales del proceso de fabricación de vidrio laminado desde la máquina autoclave 034 hasta el sistema SCADA.
- ✓ Implementar el sistema de supervisión y control en la máquina autoclave 034, mediante el software IFIX-SCADA y EZ-ZONE para la integración de los de los sistemas de control de presión, temperatura y vacío.
- ✓ Evaluar las variables de temperatura, presión y vacío en la máquina autoclave 034 para constatar el correcto funcionamiento del proceso de control mediante el Software GE DIGITAL Historian para el análisis de datos.

2. Marco Teórico

2.1. Historia de fabricación de vidrio laminado

Existen diferentes técnicas y maneras de fabricar vidrio laminado, a lo largo de los años ha tomado fuerza la implementación de cristales de seguridad en diferentes campos de aplicación. El vidrio laminado es descubierto por medio de un experimento realizado con cristales por el químico francés Edouard Benedictus en el año 1903, en donde al aplicar una disolución química de colodión en varias capas de vidrio observó que al romper los cristales para retirar la mezcla química, los cristales fracturados quedaban sujetos entre sí, permitiéndole al químico francés patentar su descubrimiento, que fue un gran aporte a la industria que hoy día se conoce como fábricas de vidrios de seguridad o vidrios laminados [8]. Este descubrimiento se convirtió a lo largo del tiempo, en una patente y en una manera de innovar el campo de los vidrios de seguridad, es por ello que en el año 1911 se reconoció como uno de los elementos para reducir la peligrosidad en los diferentes campos de acción donde el vidrio laminado pueda ser implementado, esto lo notó una compañía francesa donde los indicadores de seguridad fueron aumentando, así mismo, siguieron con la producción de vidrio laminado en el año 1927; posteriormente la compañía realizó estudios estadísticos de acuerdo a la cantidad de accidentes de tránsito a nivel mundial y la industria automotriz tomaba directrices sobre la implementación de vidrio laminado en la construcción de los vehículos lo cual en principio no fue relevante por los altos costos que estos pudieran adquirir al realizar estas mejoras o modificaciones en cuanto a seguridad. Esto fue un gran punto de partida para la elaboración de vidrio laminado a nivel mundial puesto que fue una industria que creció rápidamente que por ser motivo de seguridad, la demanda en cuanto a clientes aumento en cifras consideradas, debido al aumento de producción y aplicación de este tipo de vidrios en algunos países era de uso obligatorio en las construcciones de edificios los vidrios de seguridad, en la década de los 70 se inicia la producción de vidrio laminado para el sector arquitectónico por motivos de seguridad cuyo fin principal era la protección contra los individuos inescrupulosos y la violencia. Uno de los grandes campos de aplicación que tomó fuerza en la implementación de vidrio de seguridad fue el sector automovilístico mencionado anteriormente por los altos índices de accidentalidad y allí mismo se le conoció a nivel mundial como el blindaje de vehículos principalmente a personal gubernamental o algún ser humano que demostrara que su vida corría peligro [9].

2.1.1. Tecnologías de Elaboración de Vidrio Laminado

A raíz del descubrimiento del Edouard Benedictus, ha ido evolucionando la aplicación y utilización de los cristales y los diferentes tipos de vidrios, luego de analizar que el método de agregar colodión a dos o más capas de vidrio lograba proteger en cierta manera la resistencia del vidrio, se inicia la patente de vidrios laminados o vidrios de seguridad como comúnmente son llamados. Dentro de los tipos de fabricación de vidrio laminado más destacados, se encuentra el vidrio laminado con polivinilbutiral (PVB), en la Figura 1, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar la composición del vidrio laminado con PVB y la ubicación de la película de seguridad, lo cual es un compuesto químico formado con la mezcla de alcohol polivinilo (PVA) y butilradehido [10]. También se encuentra el proceso de fabricación de vidrio laminado con resina por medio de fundición, la diferencia entre estos dos procedimientos radica en que el Polivinil Butiral es un material flexible que se adhiere a las láminas de vidrio a una temperatura estipulada y por medio de fundición se coloca una resina en el medio de las láminas de vidrio y se polimerizan [8].

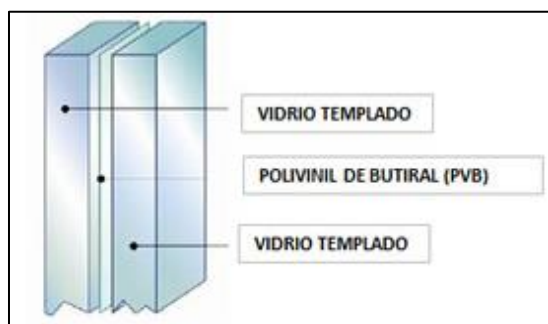


Figura 1. Composición de Vidrio Laminado PVB [11].

El vidrio laminado es un elemento compuesto por lo menos por dos capas de vidrio y material polimérico que se comporta como película de seguridad, el cual es adherido por diferentes procesos térmicos donde se garantiza el blindaje o seguridad del vidrio en cada etapa de su fabricación. Este tipo de material suele tener referencia y similitud con los materiales cerámicos por su elaboración y características que lo componen así mismo, para mejorar las condiciones del producto final y los estándares de calidad que este requiere, el vidrio procura reducir la higroscopicidad, que es una propiedad de algunas sustancias donde son capaces de absorber y exhalar humedad dependiendo el medio donde se encuentren, de igual manera, se logra una mayor rigidez al momento de fabricarlo [12]. Como se ha mencionado, una de las ventajas de los vidrios laminados es aumentar la seguridad, disminuir la transmisión de rayos UV y permitir que al fracturarse el cristal, no se

desintegre completamente como se observa en la Figura 2, en donde se observa la rotura del vidrio recocido, del vidrio templado y del vidrio laminado respectivamente [13].



Figura 2. Rotura de los Diferentes Tipos de Vidrio [13].

La evolución tecnológica en gran parte de la industria generó la posibilidad a las diferentes organizaciones e industrias que se dedican a la elaboración de procesos de fabricación de vidrios de seguridad, satisfacer las necesidades de la población, lo cual permitió aumentar la demanda, mejorar la calidad del producto fabricado y así mismo, obtener mayor utilidad de este tipo de fabricaciones. El proceso de fabricación del vidrio laminado está compuesto por las siguientes etapas: carga de máquina, lavado y secado, armado de lámina, calentamiento y extracción de aire entre láminas, preparación de láminas para autoclave, aplicación de presión y calor en autoclave, identificación del producto y etiquetado, las cuales garantizan que el producto final cuente con óptimas condiciones y con los requerimientos del cliente y su campo de aplicación [14].

Una de las técnicas más destacadas en el proceso de fabricación de vidrio laminado es realizar el laminado con PVB que es un polímero o material flexible que permite la adherencia de diferentes capas de vidrio a temperatura inicial de 20°C aproximadamente la cual irá aumentando dentro de la máquina autoclave, permitiendo así, la adherencia de las capas de vidrio con los polímeros, este material se comporta como película de seguridad entre los vidrios haciendo el cristal más resistente y rígido. Para el ensamble de la película de seguridad a la salida de la máquina lavadora de los cristales, se coloca el PVB sobre el vidrio o entre las diferentes láminas de vidrio antes de entrar a los hornos la cual, por medio de altas temperaturas la película se adhiere entre los cristales, posteriormente los vidrios son presionados para eliminar el aire que se pueda encontrar entre las capas a una temperatura aproximada de 70°C, luego el vidrio es dirigido a la máquina autoclave en donde alcanza una presión entre los 12 a 14 Bar y una temperatura entre los 125 y 140 °C, allí cada vidrio pasa por un tiempo de operación entre 6 a 15 horas para cumplir todos los estándares de calidad, seguridad y eficiencia del producto final [15].

2.1.2. Máquinas de Laminación de Vidrio

Para la fabricación de vidrio laminado se requieren diferentes tipos de máquinas que se encargan de diferenciar las etapas de producción dentro de las más destacadas se encuentran lavadora, sala de ensamblaje, horno de precalentamiento, autoclave y cámaras de vacío [16]. También, se encuentra la mesa de corte mostrada en la Figura 3, maquinaria para vidrio manual de fácil manipulación y control para el operario y por otro lado, se encuentran las mesas automáticas de corte mediante una programación, este dispositivo realiza las tareas programadas anteriormente por el encargado de la línea de producción logrando una mayor robustez en su proceso y precisión al momento del corte permitiendo que los dispositivos automáticos realicen las tareas y actividades de manera más rápida y eficaz, notando la gran diferencia con respecto a las máquinas manuales y en cuanto al objetivo final, estándares de calidad, de seguridad para que producto final cumpla todos los requisitos deseados. Es por ello que la industria de vidrio laminado se ha caracterizado por implementar nuevas tecnologías en cuanto a maquinaria independiente de los altos costos, pero es un aspecto que se refleja de forma positiva como se menciona anteriormente [17].



Figura 3. *Maquinaria Línea de Producción de Vidrio Laminado [18].*

Con los avances tecnológicos se ha logrado estandarizar los procesos industriales de manera que las operaciones se realicen de forma controlada y automática por medio de tareas previamente programadas por personal especializado en la manipulación de estos equipos de alta tecnología y es por ellos que otro campo de acción y operación de la fabricación de vidrio laminado se encuentran los CNC (Control Numérico Computarizado) como se muestra en la **Figura 4**, dispositivo que puede oscilar entre los 11.000 y los 13.000 USD por su utilidad y precisión a la hora de trabajar ya que es una máquina de alta velocidad que permite mayor operatividad del sector industrial aumentando la demanda y garantizando la seguridad del personal. Estos equipos programables se caracterizan por trabajar de manera repetitiva en un menor tiempo de manera

precisa alcanzando la optimización de los procesos de fabricación en un 30 a 40% en comparación con los sistemas estándares [19].



Figura 4. *CNC de Alta Calidad de Corte de Vidrio [20].*

2.2. Estudio del Proceso de Laminación de Vidrio a Través de la Autoclave

Para el proceso de fabricación de vidrio laminado se tienen en cuenta una serie de condiciones y estándares tanto de calidad como de seguridad que hacen necesaria la adquisición de una autoclave, la cual es una máquina que permite el manejo de altas temperaturas, presión y entre otros aspectos técnicos para que el proceso sea ejecutado de la forma más adecuada. En este proyecto se desarrollará dicha fabricación por medio de laminado de vidrio a través del sistema PVB (polivinilbutiral). En pro de aumentar la producción y la calidad de la fabricación de vidrio laminado la empresa AGP Colombia adquiere una autoclave de procedencia alemana especialistas en autoclaves para la elaboración de vidrios de seguridad y/o vidrios laminados. Esta empresa tiene la garantía de brindar confianza al cliente para cumplir los diferentes requisitos y estándares técnicos como también de calidad. En la Figura 5, se observa una autoclave de la marca Scholz Maschinenbau [21].



Figura 5. *Máquina Autoclave Scholz Maschinenbau [22].*

Las autoclaves son dispositivos metálicos herméticos de forma cilíndrica capaces de operar a altas temperaturas en diferentes tipos de proceso, una autoclave es capaz de soportar temperaturas por encima de los 100 °C utilizando vapor de agua como medio de calefacción y las temperaturas son controladas por sensores de acuerdo a las condiciones del proceso para mantener los valores deseados dentro de los estándares de la fabricación del vidrio laminado [23]. Estos equipos generalmente en su interior cuentan con diferentes tipos de conexiones ya sea de vacío, presión o refrigeración para mantener controlado el proceso sin alterar sus composiciones y que todo el dispositivo sea autónomo de regular cada una de las variables en diferentes puntos de la autoclave y así mismo garantizar que el producto final cumpla con las condiciones estipuladas [24].

El proceso de fabricación del vidrio laminado posee variables tales como: la temperatura, la presión, y el vacío las cuales son de gran importancia para garantizar la calidad y satisfacer la necesidad del cliente [25]. A continuación, se encuentra la importancia y el papel fundamental de cada una de las variables involucradas:

- ✓ **Temperatura.** Dentro del funcionamiento y operación de las autoclaves la temperatura es una variable de suma importancia para el laminado de vidrio ya que el material es adherido a las diferentes capas mediante procesos térmicos que también deben ser controlados ya sea de manera manual o automática. Para el cumplimiento óptimo del proceso, es necesario mantener los límites de temperatura ajustados al proceso de las distintas condiciones de fabricación para la elaboración del vidrio laminado, para asegurar que el nivel de calidad de cada producto sea el deseado. Es un proceso en donde la temperatura dentro de la autoclave puede alcanzar temperaturas por encima de los 100°C llegando hasta los 120° [26].
- ✓ **Presión.** Las autoclaves son dispositivos herméticos de material robusto y resistente a altas temperaturas y altas presiones. La presión que se genera en el interior de la máquina es producida por el calentamiento generado por las resistencias eléctricas como se explicó anteriormente, alcanzando unos valores máximos de 130 kPa aproximadamente, parámetros que van de la mano logrando que el fluido de aire caliente aumente la presión en un recinto cerrado, valores controlados por medidores de presión y temperatura [27].
- ✓ **Vacío.** Se conoce como presión de vacío a las presiones que tiene valor por debajo de la presión atmosférica y en el sector industrial, juega un papel importante en los diferentes procesos de producción, en este caso para la fabricación de vidrio laminado el sistema de

vaciado sirve para extraer cualquier tipo de partícula de aire, humedad y otros componentes que puedan afectar la calidad y estándares de seguridad de los cristales fabricados, es por ello que la presión de vacío es una fuerza que se ejerce dentro de un recinto cerrado, en este proceso son presiones que existen o se generan dentro de la autoclave al ser un dispositivo hermético se conoce como vacío [28].

2.3. Sistemas de Control Automático

Cuando se habla de los sistemas de control o las diferentes formas de automatizar los procesos, se logra entender cómo los dispositivos programados por el ser humano son capaces de realizar las actividades productivas por una planta industrial, a raíz de los avances y la evolución que ha tenido la tecnología con el fin de cambiar la forma de realizar los procesos de fabricación y aplicación industrial se ha logrado aumentar la demanda con respecto a los distintos productos o servicios que ofrecen. En el control y la automatización de las industrias es importante conocer los diferentes dispositivos tecnológicos que se aplican con el fin de cumplir con las necesidades empresariales y cambiar la forma de realizar las actividades; la implementación de los dispositivos van de la mano con las máquinas programables, microcomputadores, microcontroladores que son los que analizan los diferentes procedimientos y herramientas aplicadas a un sistema de diseño, análisis y mantenimiento de cada una las tareas [29].

El propósito de la automatización de los procesos es la interacción con cada etapa dentro del control por lo que existe un modelo o estructura física donde se involucran las entradas y las salidas en cuanto a variables se refiere, sabiendo que los sistemas pueden ser abiertos o cerrados [30].

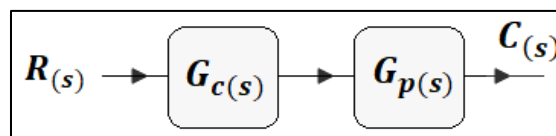


Figura 6. Diagrama de Bloques de un Sistema en Lazo Abierto [31].

En la Figura 6, se observa un sistema de lazo abierto que interviene o interactúa con el sistema para generar una señal de salida debido al comportamiento del mismo. Es decir, la salida del sistema C se realimenta con la entrada R por medio de un punto de suma donde son comparadas las dos variables, por tanto, el comportamiento de este sistema es desarrollado o el control trabaja en un solo sentido desde la entrada hasta la salida, de izquierda a derecha. así mismo como se menciona anteriormente existen los sistemas de lazo abierto en donde la señal de salida retorna mediante un bloque o una variable de realimentación que se ve representada en el bloque H de la **Figura 7**, esta señal es retornada hasta la variable de entrada R [29], los sistemas de control en

lazo abierto no es realimentada la salida ni se comparan los valores que ella arroje, es así que la entrada actúa como una operación fija en el sistema [32].

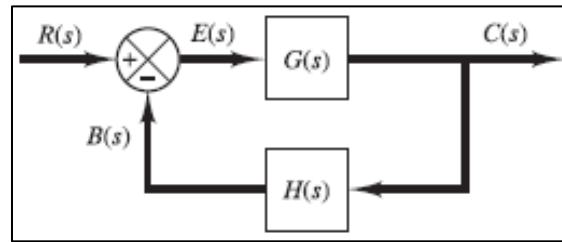


Figura 7. Diagrama de Bloques de un Sistema en Lazo Cerrado [32].

La productividad dentro de los sistemas de control y automatización se puede analizar dependiendo de los diferentes tipos de procesos industriales, la automatización posee los siguientes grupos de niveles: el nivel 1 se conoce como nivel de máquina donde son automatizados los procesos por equipos mecánicos, el nivel 2 conocido como máquinas simples donde están las máquinas que realizan operaciones específicas tales como los tornos, el nivel 3 se conoce como etapa de proceso donde son automatizados todos los componentes o dispositivos que hacen parte de la fabricación de un producto y el nivel 4 conocido como la gestión integrada en el cual se combinan todos los equipos que competen en la elaboración de diferentes productos. Con lo anterior y con todos los avances de la tecnología aplicados a la industria se han venido implementando nuevas técnicas, teóricas y tecnologías que sean capaces de potencializar los sistemas automáticos en la industria con el fin de innovar e implementar nuevas tecnologías para la automatización tales como: técnicas cableadas, microprocesadores, PC industrial, autómatas programables, control numérico y control de robot [29].

2.3.1. Controlador

Debido a que anteriormente todos los procesos industriales en las grandes plantas de fabricación se ejecutaban de manera manual y operativa con personal especializado que realizaba los cambios y controles requeridos en el sistema para cumplir con los objetivos deseados de cada proceso; en la actualidad existen muchas aplicaciones y controles industriales automáticos ya que utilizan dispositivos electrónicos programables cuyo eje principal es un ordenador principal donde se dan las ordenes fundamentales de cada proceso. Un controlador es un dispositivo fundamental e importante dentro de un sistema industrial de control ya que establece las condiciones de accionar de los actuadores que hacen parte de una planta industrial, es así que algunas de estas operaciones son conocidas como acciones básicas de control y entre ellas existen combinaciones como se muestra en la Tabla 1 [33].

Acciones Básicas	Combinación de Acciones
Proporcional (P)	Proporcional - Integrador (PI)
Derivador (D)	Proporcional - Derivador (PD)
Integrador (I)	Proporcional - Integrador - Derivador (PID)

Tabla 1. *Tipos de Controladores.*

Fuente: Autores

2.3.2. *Controlador PID*

Dentro de la automatización el controlador PID es el modelo técnico más utilizado en la industria cuyo significado es Proporcional-Integrador-Derivativo, es una combinación de los demás tipos de controladores [34], la aplicación y funcionamiento principal de estos controladores es poder controlar y alcanzar valores deseados de un proceso que realice variedad de actividades, los controladores PID son dispositivos que están a la vanguardia de los avances tecnológicos debido a su caracterización en cuanto a su beneficio por sus ajustes a los diferentes tipos de sistemas y procesos dentro de una planta; debido a que en su mayoría los lazos de control en las industrias aplican el controlador PID por su precisión, por su amplia aplicabilidad y orden al momento de mantener controlado. Son dispositivos que en su generalidad se usan para el manejo de variables de procesos tales como temperatura y presión ya que son procedimientos térmicos complejos de manipular de manera manual haciendo que el sistema sea confiable por medio de sus dispositivos [35].

Los controladores PID son sistemas de control programados usados en la automatización de procesos industriales que mediante modelos matemáticos halla el error o la desviación de los valores que se busca en un desarrollo de un proyecto; son equipos cuyo objetivo principal es minimizar las actividades y tareas al personal de las plantas industriales logrando mayor control sobre las ejecuciones y es por ello que su mayor campo de aplicación son los lazos de temperatura como sistemas de refrigeración y los calentadores, en los lazos de nivel actúan principalmente como en tanques para el manejo de líquidos y en los lazos de presión intervienen para mantener la temperatura deseada en tanques tuberías, etc. [36]. En la **Figura 8**, se observa el diagrama de un sistema de control en lazo cerrado con controlador PID.

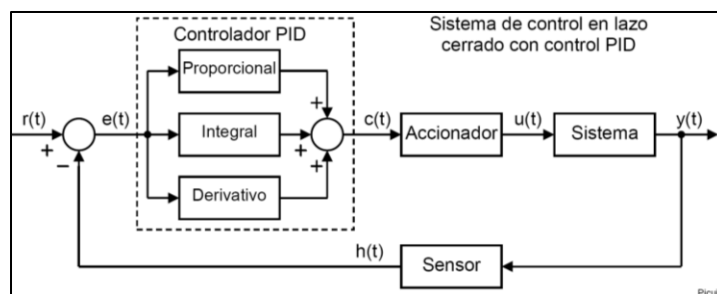


Figura 8. Sistema de Control en Lazo Cerrado con Control PID [37].

2.4. Sistemas SCADA

La automatización de procesos industriales surge a partir de las ideas de minimizar las actividades repetitivas por el ser humano dentro del ámbito industrial, todo ello basándose en la ley del mínimo esfuerzo que conlleva no a trabajar menos sino a tomar las decisiones más eficientes que puedan lograr captar mejores resultados. Se conoce el nombre de la sigla SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) al grupo de sistemas que sean capaces de realizar actividades de manera remota por medio de sistemas de comunicación entre cada uno de los componentes el sistema SCADA, es así que estos tipos de sistemas de control se convierten en herramientas de supervisión de procesos y de mando capaces de controlar y evaluar las diferentes etapas a controlar en cada proceso con estos sistemas tales como mejor accesibilidad, mantenimiento al obtener datos de los procesos ya que por medio de programaciones previas el mismo sistema arroja el comportamiento de los componentes, funcionamiento de los dispositivos, y reducción de personal operario que se tenga que desplazar a las plantas ya que por medio de los sistemas SCADA permiten ser controladas desde una oficina de manera remota [38].

Dentro de las estructuras de los sistemas SCADA un punto clave es el control de procesos de manera programada y remota, logrando la confiabilidad de la empresa siguiendo los estándares del proceso industrial que se requiera y por otro camino la inspección permanente del proceso para en dado caso hacer las correcciones o mejoras si el proceso lo requiere para que un sistema de control sea elemento clave en el manejo de las plantas industriales, son parámetros establecidos para mejorar las condiciones de trabajo siendo estas actividades capaces de mantener controlado y en buen funcionamiento el sistema, esto nos permite corregir, actuar, manipular, evaluar, entre otros aspectos importantes en los procesos de producción industrial. La automatización industrial surge a partir de la necesidad y la alta demanda de productos o servicios que puedan ser implementados en cualquier tipo de proceso y es así que distintos fabricantes a nivel mundial han desarrollado variedad de software que sean aptos para comunicarse con los diferentes dispositivos de un sistema

SCADA es por ello que hoy en día y con los avances tecnológicos hay en el mercado varias opciones dependiendo la necesidad del cliente; dentro de los software más destacados en el mercado se encuentran: Intellution, Omron, Siemens, Wonderware, GE-Fanuc, IFIX, SCS, InTouch, Cimplicity y con la implementación de estos grandes desarrollos informáticos permite las comunicaciones de todos los dispositivos de la planta forma remota [38].

En la actualidad el sector industrial busca día a día la manera de potencializar las etapas productivas y la calidad del producto haciendo que sean cada vez más seguras, eficaces, y de alta calidad, todo dentro del ámbito industrial y en la aplicación de grandes empresas unificando las tareas y actividades logrando convertir una industria más amigable. Anteriormente se menciona papel importante del control en los sistemas SCADA está directamente relacionado con los sistemas HMI lo cual es un método de comunicación llamada Interfaz Humano Máquina, lo cual permite a los sistemas SCADA mostrar información en tiempo real y observar todos los datos que le pueden aportar a los procesos, es por medio de la composición e implementación de cada uno de estos sistemas que se puede obtener la adquisición de datos, un muestreo gráfico del comportamiento de las variables involucradas del proceso para poder monitorear las mismas, acciones de control que permiten moderar, ajustar y cambiar las condiciones directas del proceso logrando mantener una alta comunicación de los procesos [39].

2.4.1. Software de Diseño CAD

Para el diseño de los grandes proyectos en la industria relacionado con la parte eléctrica, una de las herramientas informáticas y software de implementación es EPLAN Electric en el cual se podrán diseñar y planificar actividades de la industria con una gran variedad de aplicaciones en cuanto a los desarrollos de planos eléctricos, con esta herramienta que brinda diferentes opciones para evaluar cada etapa del diseño y etapa del proyecto en general para la definición de una implementación eléctrica a nivel industrial, controla los procesos, se obtiene información de ingeniería teniendo en cuenta la planificación inicial [40].

2.4.2. Software de Implementación de Sistemas SCADA

Para el diseño e implementación de un sistema SCADA es clave resaltar las herramientas informáticas de apoyo que ayudan a la programación de todo el proceso industrial y poder controlar y supervisar, tales como:

- ✓ **IFIX SCADA.** Es uno de los softwares más destacados del mercado por su experiencia en el mercado y liderazgo en el ámbito de la supervisión y control en los procesos industriales,

brinda comodidades al usuario en cuanto conectividad manejo, excelente diseño entre otras características destacadas para la interacción operario- software. Es un programa en el cual se pueden controlar todas las operaciones del sistema SCADA diseñado dependiendo el proceso industrial así mismo permite la toma de decisiones acerca del proceso empleado logrando alcanzar un buen rendimiento y respuestas rápidas en las ordenes ejecutadas [41] en la **Figura 9**, se observa la pantalla principal de un diseño dentro del software IFIX SCADA.

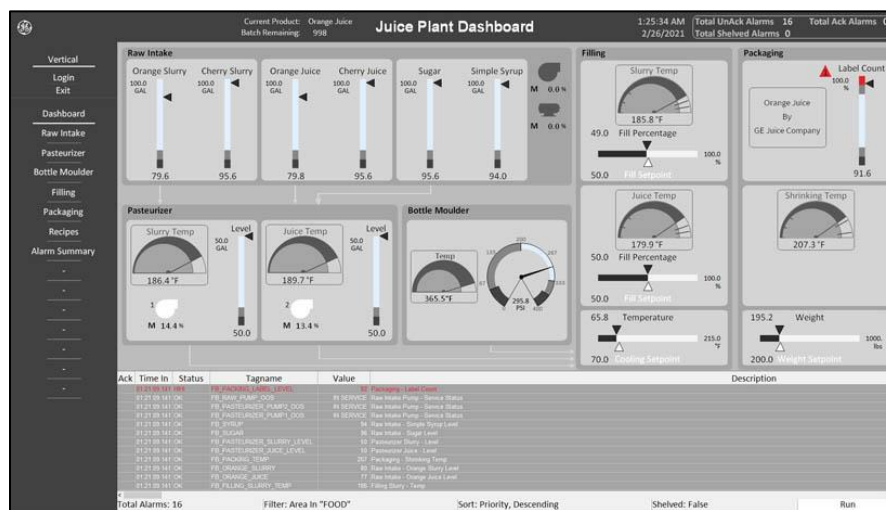


Figura 9. Pantalla de Diseño de IFIX SCADA [41].

- ✓ **GE Digital Historian.** Para el manejo y evaluación de cada una de las variables involucradas dentro de un proceso industrial controladas y monitoreadas por la implementación de los sistemas SCADA y con el apoyo de herramientas computacionales para un funcionamiento óptimo de cada sub etapa de los procesos de producción en una planta industrial, es por ello que el software Historian es para el manejo e interpretación de datos de todos los procesos con más de 20 años de experiencia en el mercado y un programa que ha recorrido el mundo con las miles de instalaciones ya que permite optimizar y maximizar la productividad de las plantas por medio de la recolección de datos con el fin de solucionar y conectar los diferentes dispositivos con énfasis en los sistemas SCADA tales como iFIX SCADA, APM y Cimplicity [1]. En la **Figura 10**, se puede observar la pantalla del software GE Digital.



Figura 10. GE Digital HMI/SCADA Cimplicity [44].

- ✓ **EZ-ZONE.** Controladores térmicos de gran utilidad para el proceso de fabricación de vidrio laminado puesto que manejan, controlan e implementan todo lo relacionado con los lazos térmicos de los diferentes procesos industriales, al ser controladores reducen la complejidad de los sistemas de control que sean necesarios para incorporarlo en un sistema térmico y debido a ellos reduce costos, aumenta la capacidad de conexión facilitando la solución de problemas relacionados con temperaturas, esto nos permite ahorrar tiempos en instalación de los controladores, aumenta la seguridad del usuario u operario y reduce el mantenimiento. Así mismo permite una amplia capacidad de configuraciones capaces de calcular valores, arrojar valores de las entradas digitales para obtener respuestas lecturas de temperaturas que se encuentren dentro de los estándares o el mismo dispositivo arroja alarmas de emergencia ya sea para parar el proceso o para controlarlo; es por ello que EZ-ZONE cuenta con la garantía, experiencia y alta calidad para hacer el proceso dentro de una planta más eficiente [42].
- ✓ **Cimplicity HMI/SCADA.** Software con potente solución a problemas de supervisión y control los diferentes procesos industriales capaz de gestionar hasta 200.000 variables por servidor permite monitorear los procesos de manera segura y precisa cada etapa e fabricación dentro de todos sus aspectos permitiendo aumentar la productividad acelerando los procesos de manera controlada logrando mayor rentabilidad en la industria, es un programa informático que nos permite la facilidad del desarrollo el manejo y la aplicación, minimiza el tiempo de ejecución de los proyectos, información gráfica de los procesos con la capacidad de reducir problemáticas [43].

2.4.3. PLC

En la automatización de procesos aplicados en las grandes industrias los PLC (Controlador Lógico Programable), son dispositivos electrónicos capaces de almacenar internamente información de programación por medio de desarrollos de control que puedan direccionar al operario, estos direccionamientos permiten implementar diferentes funciones aplicadas con el control lógico, funciones matemáticas, procesos de temporización y secuencias, como también controlar diferentes tipos de máquinas en una amplia variedad de industrias que se necesite automatizar los procesos de fabricación. Uno de los principios de funcionamiento de este tipo de dispositivos electrónicos programables es tener la capacidad de guardar en su memoria el control de tareas monitoreadas a partir de un ordenador donde se incorporan las instrucciones a seguir dependiendo el proceso que la industria requiera, este equipo cuenta con entradas, salidas y un sistema operativo donde serán subidos los programas del usuario lo cual da libertad de implementar estos programas para la variedad de procesos industriales [45].

En el año 1968 por colaboración del ingeniero mecánico estadounidense Dick Morley conocido como el precursor y su importante participación en crear el primer controlador lógico programable PLC, puesto que fue un descubrimiento de gran relevancia ya que ponía un punto de partida a los nuevos caminos de la automatización industrial siendo un punto clave logrando que las distintas máquinas que hacen parte de una planta funcionen de manera automática por medio de este tipo de implementaciones logrando así una transformación digital y entrando a la vanguardia de los avances tecnológicos aplicados en la industria. Los componentes de estos dispositivos cuentan con una estructura física donde se encuentran los puntos de conexión, entradas, salidas, almacenamiento que se encuentra en la Figura 11, en donde se observa un PLC industrial de referencia DVP-12SE caracterizado por su facilidad de almacenamiento, comunicación y accesibilidad al operario [45].



Figura 11. *PLC DPV-12SE [46].*

Los PLC cuentan con diferentes puntos de aplicación dentro de los más destacados la industria del automóvil, la siderurgia, la industria química, sectores energéticos entre otros, ya que permite supervisar, programar, controlar, ejecutar y desarrollar cada una de las actividades deseadas de acuerdo al proceso, es así que con el avance de la tecnología y lo que conlleva toda la transformación industrial por medio de la alta demanda de la industria 4.0 donde se enfatiza la importancia de aumentar los desarrollos de proyectos, aumentar la capacidad de producción, supervisión de los diferentes procedimientos. Por consiguiente, en la industria del vidrio se ha implementado la automatización de procesos hace varios años debido a la complejidad de tareas al momento de fabricar vidrios ya que permiten controlar las cantidades de material adecuadas de acuerdo a lo que el producto necesite, supervisar los valores de temperatura, presión, permite el análisis de datos, registrar el control de las variables involucradas en un proceso de elaboración de vidrio [45]. En las grandes industrias los PLC a gran escala se les conoce como API (Autómata Programable Industrial) el cual funciona como método de comunicación entre pantallas de programa o los mismos sistemas SCADA en grandes procesos automatizados [47]. En la **Figura 12**, se muestra la estructura física de un PLC.

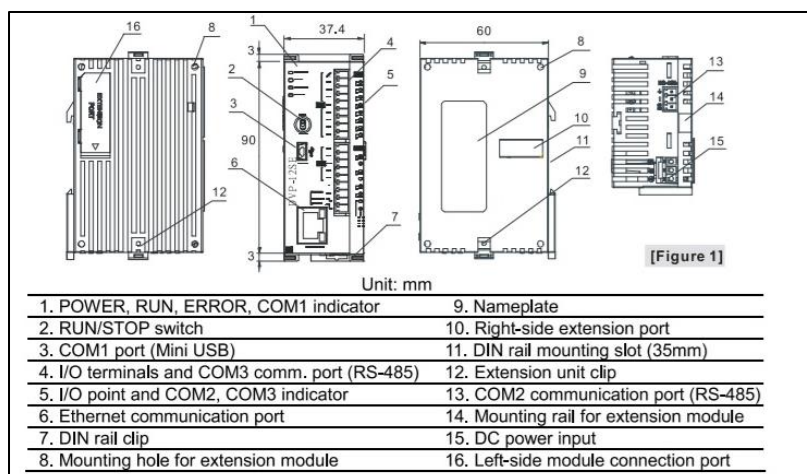


Figura 12. Estructura Física de un PLC [46].

Dentro de las partes importantes de un PLC sobresalen el chasis que hace función a la columna vertebral del dispositivo donde se encuentran todas las partes, el módulo de alimentación que se encarga del suministro de energía y el equipo encienda el cual es capaz de convertir la corriente alterna AC en corriente continua DC, de los componentes más importantes de un dispositivo electrónico esta la unidad central de procesamiento (CPU) donde está el sistema operativo del dispositivo, la memoria de almacenamiento y el microprocesador el cual funciona como temporizador, relé y contadores de los programas, que permiten monitorear las entradas, ejecutar los programas que controlan el sistema y actualizar permanentemente el estado de las salidas [45].

2.4.4. Lenguajes de Programación

Son parámetros necesarios para la comunicación de los dispositivos electrónicos entre el usuario y el PLC, donde su punto de partida puede ser por medio de un programa preestablecido llamado Ladder Program, el cual permite programar el PLC por medio de un computador personal mediante funciones que se van a ejecutar dentro del programa como se observa en la **Figura 13** [47].

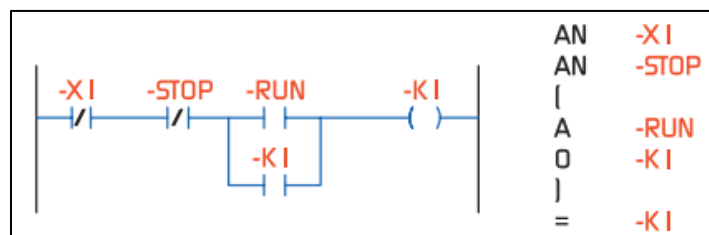


Figura 13. Lenguaje Visual y Escrito de PLC [47].

La comunicación entre estos dispositivos mediante el lenguaje de programación de los PLC, se divide en dos niveles: nivel alto como lo son lenguajes gráficos y nivel bajo como lo son lenguajes

textuales o escritos. Los lenguajes de nivel bajo son una lista de instrucciones (IL o STL), que funciona como lenguaje básico en donde se ejecutan órdenes de mando que el procesador obedece, dentro del lenguaje de nivel bajo también está el texto estructurado (ST) necesario para programar funciones matemáticas. Los lenguajes gráficos de alto nivel son denominado escalera, Ladder o de Contacto (LD) [48], los cuales permiten a los fabricantes de PLC, siguiendo los estándares internacionales de programación, ejecutar ciertos lenguajes para la comunicación entre los equipos que hacen parte del sistema para garantizar y cumplir los objetivos de los programadores, operaciones y las necesidades de la industria, en la Tabla 2 se encuentran los principales lenguajes de programación de PLC.

Lenguaje	Características	Ejemplo	Tipo	Nivel
Listas	Lista de instrucciones	IL, AWL, STL, IL/ST	Escrito	Bajo
Plano	Diagrama Eléctrico	LADDER, LD, KOP		
Diagramas de bloques	Diagrama Lógico	FBD, FBS, FUD	Visual	Alto
Bloques Secuenciales	Diagrama Algorítmico	AS, SFC, PETRI, GRAFCET		
Otros	Lenguajes usados en otras áreas	BASIC	Escrito	

Tabla 2. *Lenguajes de Programación para PLC.*

Fuente: Autores.

2.4.5. *Protocolos de Comunicación*

Existen unas normas y generalidades de programación de los controladores lógicos programables, los cuales cuentan con ciertos beneficios y una serie de desventajas que se convierten en problemáticas tales como: inconvenientes de comunicación, debido a que fueron creados cuando el acceso a internet era limitado, presenta altos costos de implementación y utilizan protocolos bajos de seguridad para comunicarse entre sí. A partir de la evolución tecnológica y los avances tecnológicos aplicados a las grandes industrias, todo tipo de procesos automatizados se han mejorado de acuerdo a las necesidades de la misma industria y la necesidad de los operarios logrando convertir cada proceso, cada aplicación, y cada implementación más sencilla para su manipulación [49].

Para que un proceso de comunicación sea eficiente tiene que cumplirse el intercambio de información y de datos entre dos o más dispositivos que estén ejecutando un mismo proceso, básicamente aplicados a las grandes industrias automatizadas logrando mantener el control de las actividades individuales de manera programada, eficaz, segura, y rápida al momento de presentar

algún inconveniente en la conexión de los sistemas y/o los procesos de fabricación automáticos, debido a la buena comunicación de los procesos industriales entre la sala o dispositivos de control y cada uno de los equipos se vuelve una realidad y toma fuerza en la innovación industrial cambiando la manera de realizar las actividades productivas de una planta, todo esto da cumplimiento a unos protocolos de comunicación que se caracteriza por el cumplimiento de algunas normas y seguimientos protocolarios para sea un proceso exitoso, todo proceso de comunicación en tiempo real necesita el buen funcionamiento de cada componente y que se encuentren programados de la manera deseada y no presenten problemas inesperados para así mismo llevarlos a la actualidad con las nuevas tecnologías cumplimiento estándares de programación y evolucionando los antiguos protocolos o métodos de comunicación tales como: Modbus/TCP, DNP3, Profinet entre otros. Para permitir que los procesos de comunicación brinden seguridad es necesario implementar e interactuar con métodos como Ethernet y TCP/IP, los cuales aumentan la capacidad de la transferencia de datos de los sistemas que se están controlando el protocolo Ethernet permite la interacción para poder configurar, modificar, controlar y acceder a los equipos de los sistemas automáticos. Mencionados anteriormente los protocolos TCP para el transporte de información y el IP que pertenece al internet son respectivamente tecnologías aplicadas a la industria para el manejo y traspaso de datos por medio de cable que vincula los softwares con cada equipo [50]. Otro protocolo destacado de la comunicación en la actualidad es el Modbus que es una estructura que se utiliza para establecer una comunicación por parte del servidor u ordenador principal del sistema y el cliente en cada uno de los dispositivos que hacen parte del sistema de control, claramente este protocolo se ha ido modificando y transformando con la ayuda de otros sistemas de comunicación convirtiendo en el protocolo Modbus TCP/IP en el más utilizado en la industria, son reglas diseñadas para que los dispositivos como PLC's, PC y otros equipos de entrada/salida se comuniquen por medio de una red Ethernet previamente programados. El protocolo Profinet es utilizado mediante comunicación por medio de Ethernet industrial en tiempo real para el procesamiento de datos y de información así mismo este protocolo de comunicación cuenta con algunas extensiones par diferentes aplicaciones industriales tales como Profinet/ CBA, DCP, IO, MRP, MRRT cada uno permite algunas configuraciones y adiciones distintas para sincronizar y automatizar de manera más rápida los procesos y las etapas de producción [50].

3. Desarrollo Metodológico

3.1. Planeación del Proyecto

Dentro del desarrollo y ejecución de esta implementación se realiza una programación y planeación de cada etapa del proyecto como se encuentra en la **Figura 14**, desde las visitas técnicas realizadas a la planta hasta la entrega de la implementación a la empresa AGP Colombia.

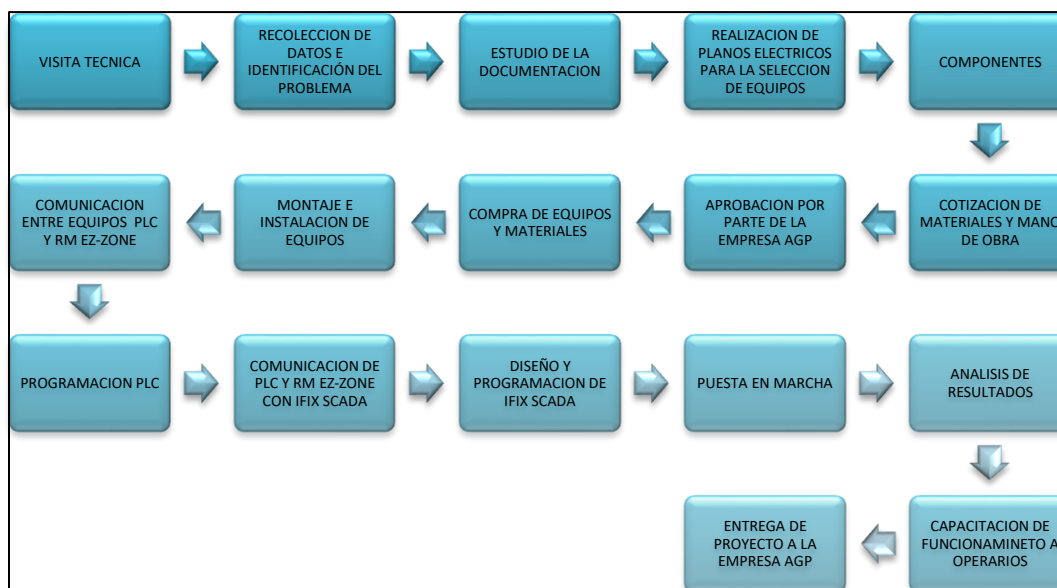


Figura 14. Plan de Trabajo y Ejecución del Proyecto.

Fuente: Autores.

3.1.1. Visitas Técnicas

Se realizaron dos visitas técnicas a la empresa AGP de Colombia de la ciudad de Bogotá para conocer los principales problemas que presenta el proceso de laminado de vidrio, sus fortalezas y generar un contexto del proceso de fabricación para poder proponer la implementación de un sistema SCADA para la automatización de proceso actual. Luego de haber realizado la documentación técnica y conocer acerca del proceso de fabricación de vidrio laminado respecto a cada una de sus etapas, la caracterización necesaria para el cumplimiento de la implementación de un sistema de supervisión y control y adquisición de datos SCADA, se realiza la planeación para la ejecución de este proyecto, en donde se encuentra un plan de trabajo para el desarrollo de la implementación. En las visitas técnicas se caracteriza la máquina autoclave 034 observada en la **Figura 15**, la cual es el elemento clave para la fabricación del vidrio laminado.



Figura 15. *Maquina Autoclave Empresa AGP, Toma Exterior e Interior.*
Fuente: Autores.

3.1.2. Recolección de Información e Identificación del Problema

En el desarrollo del proceso de fabricación de vidrio laminado de manera manual, se presentan tres grandes problemáticas que generan la necesidad de automatizar este proceso industrial, la primera tiene que ver con el alto consumo de energía debido a que al realizarse de manera manual la autoclave y todo el proceso de fabricación consume un 20% más de energía, el segundo hace referencia a los procesos de manipulación de válvulas y toma de datos ya que se manejan por operarios de la planta, controlando por tiempo, de acuerdo a las condiciones que el proceso exija y por último, el sistema de enfriamiento de la autoclave requiere de un caudal aproximado de 15.000 L/h, siendo este el sistema de enfriamiento capaz de controlar la temperatura, para garantizar un buen funcionamiento, el agua durante esta etapa debe estar acerca de los 10°C de temperatura.

3.1.3. Estudio de la Documentación

Con el manejo manual del sistema del vidrio laminado se realizan los procesos de calentamiento de las resistencias y de la autoclave siendo controlado por medio de contactores en un sistema de control ON/OFF, la presión interna dentro de la máquina es controlada de manera manual por operarios basados en tiempos calculados para mantener la presión requerida y en cuanto a la despresurización o presión de vacío se maneja por medio de manómetros y de una bomba de vacío que con el accionar de válvulas de paso se cerciore que la presión saliente del sistema llegue al valor requerido.

Como se menciona anteriormente, la fabricación de vidrio laminado en la empresa AGP se realiza de manera manual generando deficiencias en cuanto a seguridad, calidad del producto final y

productividad. Es así como se identifica el problema respecto al costo-beneficio que el proceso requiere debido a la cantidad de personal que debe intervenir, la seguridad del mismo, debido a la interacción con altas temperaturas y altas presiones, el control permanente del proceso para el cumplimiento de las condiciones y estándares de calidad, con lo cual se pretende mejorar los procesos manuales y aumentar productividad, restablecer y perfeccionar las actividades automatizando la fabricación del vidrio laminado mediante la implementación de un sistema SCADA, con el cual se pueda monitorear variables principales y así mismo, controlar cada etapa del proceso en tiempo real, tomando registro de datos, gráficos y entre otros.

Una de las etapas y actividades más importantes y fundamentales para la ejecución e implementación de este proyecto, es la documentación teórica del proceso del vidrio laminado, partiendo del conocimiento de las diferentes tecnologías de fabricación, componentes, maquinaria, softwares de aplicación, lenguajes de comunicación, conocimiento sobre la máquina autoclave, tipos de vidrio laminado y el comportamiento de las variables durante el proceso de fabricación. En el Anexo 01 podemos observar los diferentes componentes y partes del sistema que logran el óptimo funcionamiento de la autoclave dentro de la fabricación de vidrio laminado.

3.1.4. Elaboración de Planos Eléctricos

Los planos eléctricos se realizaron por medio del software EPLAN Electric en donde se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Marquillas del cableado
- ✓ Alimentación de los equipos
- ✓ Conexión de entradas y salidas
- ✓ Conexión de señales análogas /digitales

En la **Figura 16**, se plasma el listado de planos eléctricos que hacen parte de la implementación del sistema de automatización y control para la empresa AGP. Cada uno de los planos eléctricos se encontrará en los Anexos 48 al 60.

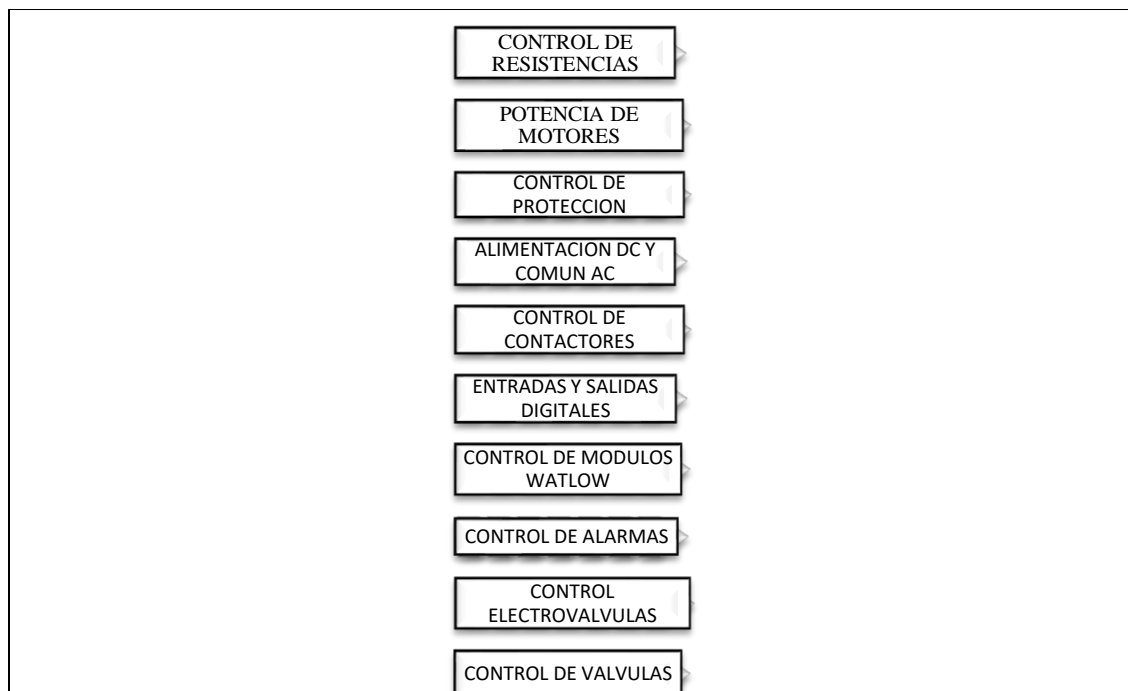


Figura 16. *Listado de Planos Eléctricos.*

Fuente: Autores.

Para el proceso de calentamiento se realizaron los planos eléctricos de control de las resistencias, como se observa en el Anexo 08.

3.1.5. Selección de Componentes para Sistema de Supervisión y Control.

El proceso de fabricación de vidrio laminado se divide en tres grupos de variables, las cuales son indispensables para realizar los respectivos cálculos y montajes del proceso de automatización y control las cuales son: temperatura, presión y vacío.

3.2. Análisis para la Implementación del Sistema de Calentamiento

A partir del sistema de calentamiento de la autoclave 034, se procede a realizar el cálculo de las resistencias y el cálculo de los equipos de control, por condiciones de seguridad y con el fin de garantizar el funcionamiento continuo del proceso de fabricación de vidrio laminado, la implementación de las resistencias tendrá una división por zonas para intervenir cada una de ellas en caso de que se presenten fallas sin necesidad de interrumpir y parar el proceso.

En la **Figura 17**, se observa la adecuación de las resistencias en la parte posterior de la máquina autoclave 034, siendo conectadas con un tipo conexión en estrella para que el flujo de corriente sea el óptimo. Es importante resaltar que el proceso de calentamiento se realizaba mediante contactores para el proceso manual los se reemplazarán por controladores DIN-A-MITE, para permitir el proceso automático.



Figura 17. Adecuación de Resistencias de Calentamiento.

Fuente: Autores.

Los valores de potencia, corriente y zonas de resistencia requeridos para el proceso de calentamiento se muestran en la Tabla 3.

Datos de Calentamiento Autoclave 034	
V	440 V
W	200 kW
ZONAS	I > 50 A

Tabla 3. Valores Requeridos para el Proceso de Calentamiento.

Fuente: Autores.

A continuación, se procede a calcular la corriente (I) necesaria por medio de la Ecuación 1, de manera que se pueda determinar el número de zonas permitidas para el calentamiento a partir de la potencia dada por el proveedor de la máquina, teniendo en cuenta que el valor de la corriente no puede ser inferior a los 50A.

$$P = V \times I$$

Ecuación 1. Potencia Eléctrica.

Seguidamente, se calcula a partir de la Ecuación 2 la corriente de fase (I_f), tal como se muestra a continuación:

$$I_f = \frac{P}{V}$$

Ecuación 2. Corriente de Fase.

$$I_f = \frac{200 \text{ kW}}{440 \text{ V}}$$

$$I_f = 454.54 \text{ A}$$

Luego, con la Ecuación 3, se calcula la corriente de línea (I_L), como se observa a continuación:

$$I_L = \frac{I_f}{\sqrt{3}}$$

Ecuación 3. Corriente de Línea.

$$I_l = \frac{454.54 A}{\sqrt{3}}$$

$$I_L = 262.24 A$$

Finalmente, se calcula la corriente con respecto al número de zonas de las resistencias, usando la Ecuación 4.

$$I x zona = \frac{262.24 A}{5}$$

Ecuación 4. Corriente por Zona de Resistencia.

$$I x zona = 52.48 A$$

De los resultados anteriores, es posible determinar que el número de zonas por grupo es de cinco (5) y que la corriente para la selección de los equipos de control de temperatura (DIN-A-MITE Solid-State Power Controller) debe cumplir con un rango de corriente mayor o igual a 52.48A. En la **Figura 18**, se muestra la conexión de las resistencias hacia la autoclave 034.

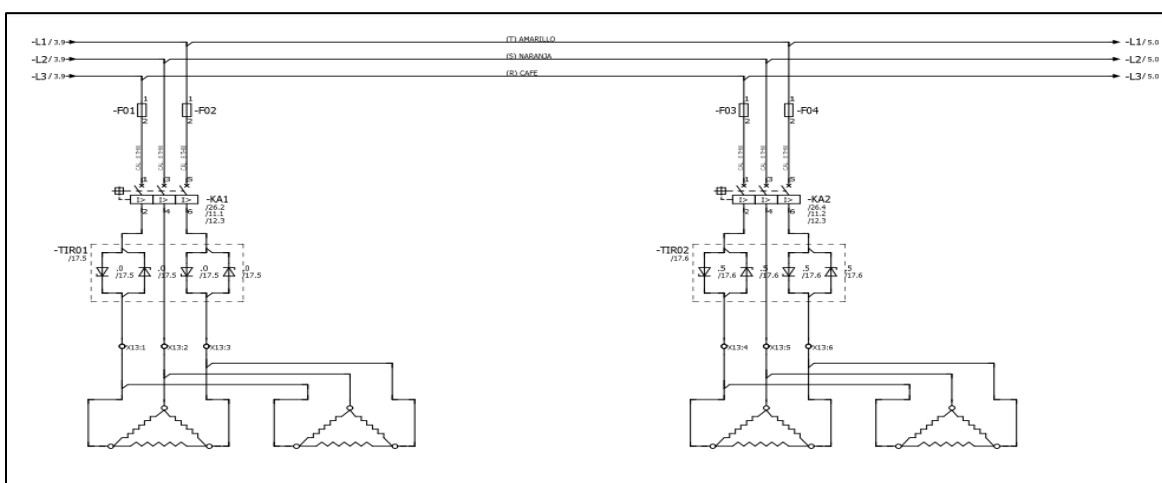


Figura 18. Diagrama de Conexión en Triángulo para las Zonas de Calentamiento.

Fuente: Autores

3.2.1. Selección de Componentes para el Sistema de Calentamiento

En la **Figura 19**, se observa la selección del dispositivo para el proceso del calentamiento del sistema, el cual es un controlador sistema trifásico Watlow DIN-A-MITE, sus especificaciones se muestran en la **Figura 20**. Así mismo, en la **Figura 21**, observamos la instalación del controlador en el tablero de potencia.



Figura 19. Controlador Watlow DIN-A-MITE [42].

Semiconductor Fuses for Applications Through 600V~ (ac):				
Semiconductor Fuse Rating	Watlow Fuse P/N	Bussman Fuse P/N	Watlow Holder P/N	Ferraz Holder P/N
30A	17-8030	FWP30A14F	17-5114	USM141i
40A	17-8040	FWP40A14F	17-5114	USM141i
50A	17-8050	FWP50A14F	17-5114	USM141i
63A	17-8063	FWP63A22F	17-5122	US221i
80A	17-8080	FWP80A22F	17-5122	US221i
100A	17-8100	FWP100A22F	17-5122	US221i

4 WATLOW DIN-A-MITE Style C User's Manual

Figura 20. Especificaciones Técnicas Controlador Watlow DIN-A-MITE [42].



Figura 21. Conexión Watlow DIN-A-MITE en Tablero de Potencia.

Fuente: Autores.

En otra instancia, los controladores EZ-ZONE RM simplifican la gestión del sistema térmico, ya que su familia de controladores integrados se compone de seis (6) tipos de módulos: módulo integrado de control de ON/OFF o PID el cual monitorea y controla el límite de temperatura, módulo de control de alta densidad, módulo de solo límite, módulo de expansión de entrada/salida (E/S), módulo de monitor/escáner de alta densidad y un módulo de registro de datos y acceso a comunicaciones de campo. El EZ-ZONE RM es extremadamente flexible y escalable, lo que permite mezclar y combinar E/S para configurar de 1 a 152 lazos de control y hasta 256 puntos de

monitoreo, en la **Figura 22**, se puede observar el controlador EZ ZONE RM, con cada uno de sus módulos.



Figura 22. Controlador EZ-ZONE RM [42].

En la página web del fabricante del controlador EZ-ZONE RM situada en el siguiente link: <https://wwwwest-cs.com.br/blog/es/2017/03/12/o-que-e-control-e-pid/>, se encuentra el manual de usuario en donde es posible observar sus especificaciones y características técnicas, puertos de conexión y formas de comunicación con otros dispositivos.

3.2.2. Contactor Tripolar 65 A Schneider Bobina 220 VAC

Dentro de los componentes incluidos en la cotización aprobada por la empresa AGP se encuentran los contactores de marca Sneider Electric mostrados en la Figura 23, estos contactores funcionan electromecánicamente, diseñados para la integración en sistemas de control y útiles para cualquier tipo de aplicación industrial. Fueron escogidos a partir de la corriente calculada para el control de calentamiento.



Figura 23. Contactor Tripolar Schneider [51].

3.2.3. Fusibles Y Portafusibles De 50 A

Se utilizaron fusibles de 50A mostrados en la **Figura 24**, los cuales permiten asegurar la integridad de los dispositivos eléctricos, evitando que en momentos de alta tensión eléctrica se afecte el resto de la instalación del sistema.



Figura 24. Fusibles 50 A [52].

3.2.4. Sensor Termocupla Tipo K

Se optó por la utilización de la termocupla industrial tipo K mostrada en la **Figura 25**, dadas sus características y el rango de temperatura que maneja, ya que cumple con los requerimientos observados en las especificaciones técnicas del Anexo 30.



Figura 25. Termocupla Industrial Tipo K [53].

3.2.5. Relevos Tipo Slim 24 VDC (Relpol) 5 Pines

Los relevos observados en la **Figura 26**, permiten por medio de su capacidad de contacto trabajar con los contactores de VAC de 220 para el accionamiento automático del sistema utilizando las salidas del PLC para el control. Sus especificaciones se muestran en la Tabla 4.

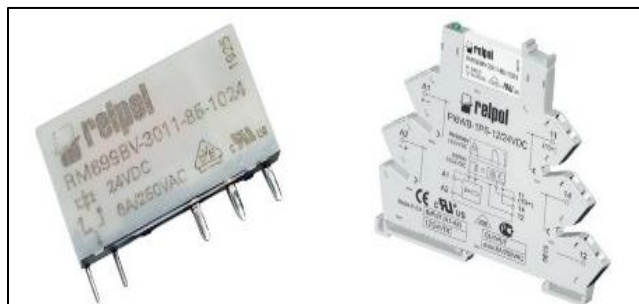


Figura 26. Relevos Relpol Tipo Slim [54].

Especificaciones del Relevó	
Descripción	Dato
Voltaje Bobina	24 VDC
Número de Contactos	1 conmutable
Material del Contacto	AgSnO ₂
Capacidad Contacto	6 A / 250 VAC/ 24 VDC

Tabla 4. Especificaciones del Relevó Relpol Tipo Slim.

Fuente: Autores

3.3. Análisis para la Implementación del Sistema de Enfriamiento

Para la implementación del sistema de automatización y control, se conservó el sistema de enfriamiento con el que cuenta la empresa AGP del cual, se tomaron los datos mostrados en la Tabla 5.

Datos Sistema de Enfriamiento	
Descripción	Datos
Bomba de Agua	15m ³ /h
Temperatura Agua	10°C
Tubería	2"
Motor	5 HP

Tabla 5. Datos Sistema de Enfriamiento.

Fuente: Autores.

En la Figura 27, se observa el cuarto de bombas en donde se realiza el ciclo distribución de agua desde el pozo a la autoclave 034.



Figura 27. Cuarto de Bombas de la Empresa AGP.

Fuente: Autores.

3.3.1. Selección de Componentes para el Sistema de Enfriamiento

Para el control del sistema de enfriamiento se utilizó con un contactor tripolar de 18A Schneider Bobina 220 VAC, ver **Figura 28** y relevos tipo Slim 24 VDC Relpol cinco (5) pines. Para esto, se realizó un control automático de la bomba de agua a partir de las condiciones de fabricación para el enfriamiento del sistema. Del mismo modo en el Anexo 31 se encuentra el sistema de tuberías y tanques de almacenamiento para el control del agua utilizada para el sistema de enfriamiento de

todo el proceso. En el Anexo 32 se encuentra la imagen posterior del motor ventilador implementado a la autoclave 034, el cual garantiza el enfriamiento del sistema.



Figura 28. Contactor Tripolar 18 A Schneider Electric [51].

3.4. Análisis para la Implementación del Sistema de Presión

Respecto al sistema de control de presión, se seleccionaron los componentes que cumplieran con los requerimientos mostrados en la Tabla 6.

Datos Sistema de Presión	
Descripción	Valor
Diámetro Tubería	2"
Presión Máxima	150 PSI
Volumen Autoclave	28000 L

Tabla 6. Datos sistema de presión.

Fuente: Autores.

3.4.1. Selección de Componentes para Sistema de Presión

- ✓ **Válvula Modulante de Presión.** Para el control de presión se utilizó la válvula modulante de marca Eckardt como se observa en la **Figura 29**, la cual fue proporcionada por la empresa AGP, se realizó la respectiva conexión de las señales hacia el control RMC Watlow, para posteriormente realizar la programación a partir de los requerimientos de las condiciones de fabricación para el vidrio laminado.



Figura 29. Válvula Modulante de Dos Pulgadas con Actuador de Aire para Entrada y Salida.

Fuente: Autores.

- ✓ **Transmisor de Presión 0 a 15 Bar 1/4 NPT 24 VDC 4-20 mA.** Puesto que para las condiciones de fabricación, se requiere una presión máxima de 120 PSI, se utiliza del transmisor de presión mostrado en la Figura 30, el cual cumple con las especificaciones requeridas, es de aclarar, que para comprobar si el transmisor cuenta con la presión necesaria, se realiza la conversión de Bar a PSI, debido a que, por efectos de fabricación, el transmisor mide la presión en Bar, ver Ecuación 5.



Figura 30. *Transmisor de Presión [55].*

$$15 \text{ bar} * \frac{14.50 \text{ psi}}{1 \text{ bar}} = 217.55 \text{ PSI}$$

Ecuación 5. *Conversión Bar a PSI.*

- ✓ **Compresor Automático de Aire para el Sistema de Presión.** El sistema de presión trabaja a partir de un compresor de aire el cual opera de manera automática llevando el paso de aire requerido para el proceso, a partir de la condición de fabricación seleccionada por el operario y supervisada por el sistema SCADA, ver Figura 31.



Figura 31. *Compresor Automático.*

Fuente: Autores.

3.5. Análisis para la Implementación del Sistema de Vacío

Para el sistema de control de vacío, se seleccionaron los componentes que cumplieran con los requerimientos mostrados en la Tabla 7.

Datos Sistema de Vacío	
Descripción	Datos
Bomba de Vacío	180 m ³ /h

Medida Máxima de Presión	1 mBar
Diámetro Tubería	1/2"
Motor	5 HP

Tabla 7. Especificaciones Sistema de Vacío.

Fuente: Autores.

3.5.1. Selección de Componentes para el Sistema de Vacío

- ✓ **Transmisor de Vacío -1 a 1 mBar 24 VDC 4-20 mA.** Se seleccionó el transmisor de vacío de -1 a 1 mBar como se observa en la Figura 32, ya que el valor de trabajo está entre el rango de los 19 y 21 inHg, es de aclarar, que para comprobar si el transmisor cuenta con la presión de vacío necesaria, se realiza la conversión de mBar a inHg, debido a que, por efectos de fabricación, el transmisor mide la presión de vacío en mBar, ver Ecuación 6.



Transmisor de
presión

Figura 32. Transmisor de Presión de Vacío.

Fuente: Autores.

$$1 \text{ mBar} * \frac{33.864 \text{ pul Hg}}{1 \text{ mbar}} = 33.864 \text{ pul Hg}$$

Ecuación 6. Conversión mBar a inHg.

Para el control de vacío se tienen once (11) flautas y cada una cuenta con un transmisor, estas se distribuyen en once (11) puntos, cada una bajo el requerimiento de la producción, donde se requiere un total de 110 puntos para la conexión del embolsado de vidrio al ingreso de la autoclave 034 en donde iniciará el proceso de las condiciones de fabricación. En la **Figura 33**, es posible observar los puntos de vacío con su respectivas conexiones y tuberías.

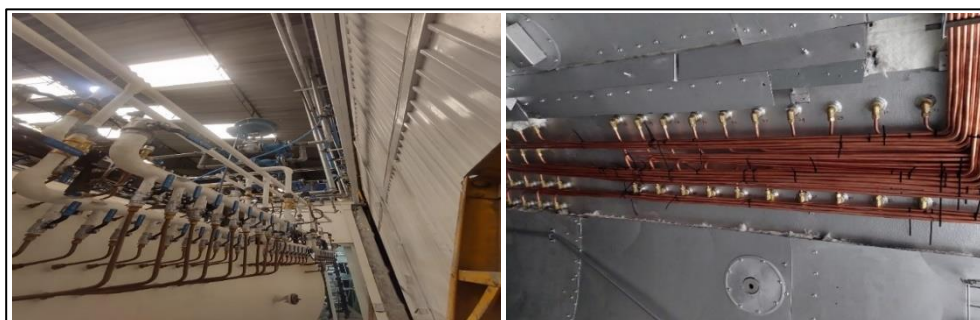


Figura 33. Puntos de Vacío.

Fuente: Autores.

En la **Figura 34**, se muestra el seguimiento de control de la variable vacío, donde el valor esperado de trabajo es de 21 inHg, según el rango estipulado (21inHg a 19inHg), en caso de obtenerse un valor por debajo de los 17inHg, inmediatamente por medio de un transductor se enviará una señal analógica que generará una alarma que activará la sirena y enviará un aviso al operario y supervisor que permitirá intervenir en el proceso y verificar la posible falla. En la **Figura 35**, se observa la conexión del embolsado de vidrio en los puntos de vacío.

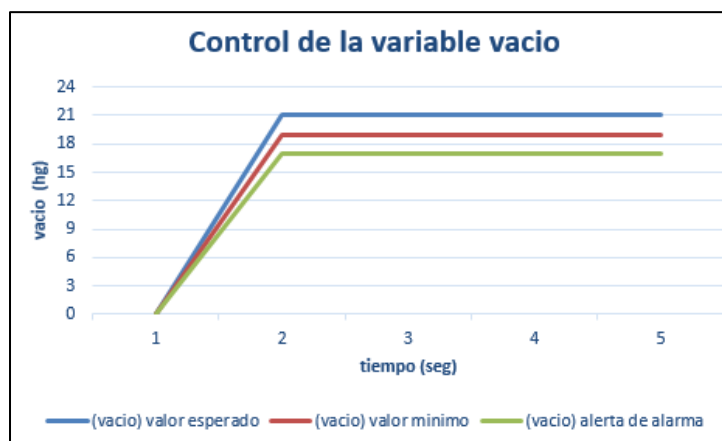


Figura 34. Control Variable de Vacío.

Fuente: Autores.



Figura 35. Conexiones Puntos de Vacío.

Fuente: Autores.

3.6. Cotización de Materiales y Mano de Obra

La cotización de los materiales y mano de obra requerida en este proyecto se puede observar en el Anexo 07, es importante resaltar que se evaluaron los precios de diferentes proveedores a nivel

nacional y se escogieron los de mayor garantía y rentabilidad, esto con el fin de mantener una relación costo-beneficio viable para la empresa, se contempló el cambio de los tableros de potencia y de control, la mano de obra del cableado de potencia de control, para la programación SCADA y de los equipos EZ-ZONE RM y el PLC DELTA DVP 12-SE.

3.6.1. *Aprobación de la Cotización*

A partir de la cotización generada, se procedió a realizar la solicitud de aprobación por parte de la empresa AGP, dicha cotización, pasa por diferentes áreas de revisión, las cuales se pueden observar en la **Figura 36**, es de resaltar que, el presupuesto aprobado por parte de la empresa AGP de Colombia fue de \$ 200.000.000.

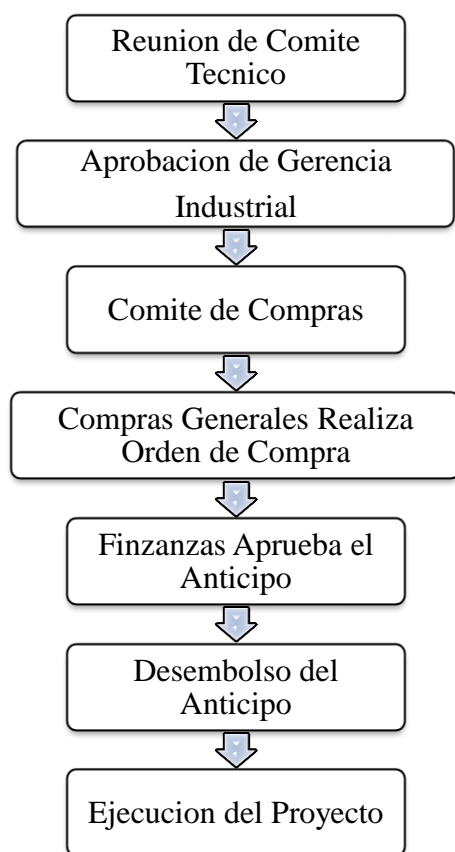


Figura 36. *Proceso de Aprobación de Cotización.*

Fuente: Autores.

3.6.2. *Compra de Equipos y Materiales*

Pasada la aprobación de la cotización por parte de la empresa AGP, el siguiente paso fue la adquisición de los equipos para poner en marcha la ejecución del proyecto, estos fueron suministrados por parte de los proveedores en donde seguidamente se realizó el chequeo del estado de la entrega y se verificó que los elementos y equipos fueran los correspondientes.

3.7. Montaje e Instalación de Equipos

Luego de pasar por los procesos mencionados anteriormente y con la aprobación económica y técnica por parte de la empresa AGP, se procede a realizar el respectivo montaje y ejecución del proyecto en colaboración con el personal de AGP, siguiendo el plan de trabajo para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto garantizando una excelente implementación.

3.8. Comunicación de Equipos PLC y EZ-ZONE RM

3.8.1. Comunicación PC - PLC Delta DVP 12-SE

Para la comunicación entre el PLC Delta DVP 12-SE y el ordenador PC, donde se realiza la programación, se debe tener en cuenta el protocolo de comunicación para este proyecto, esta se desarrolla a partir de comunicación Ethernet/IP. La interacción entre equipos la podemos ver en la **Figura 37**.

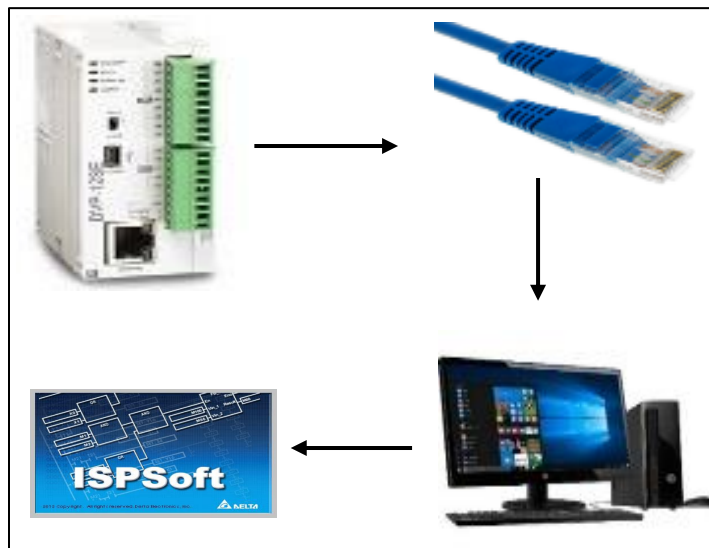


Figura 37. Etapas de Comunicación de PLC.

Fuente: Autores.

Para que la configuración y comunicación se realice de manera correcta y eficiente se siguieron los siguientes pasos:

- ✓ **Paso 1.** En el manual del equipo PLC DVP 12-SE, ver Anexo 09, se busca la dirección IP establecida para la respectiva configuración. Tenemos que la dirección IP para el equipo es 192.168.1.5, tomada del manual del PLC, según la referencia.
- ✓ **Paso 2.** El software DELTA ISPSOFT y el COMMGR se descargan gratuitamente de la página web www.deltaww.com, siguiendo el procedimiento del Anexo 10.
- ✓ **Paso 3.** Se realiza la configuración del puerto Ethernet para la comunicación entre el PLC y el ordenador, el cual se evidencia en la **Figura 38**.

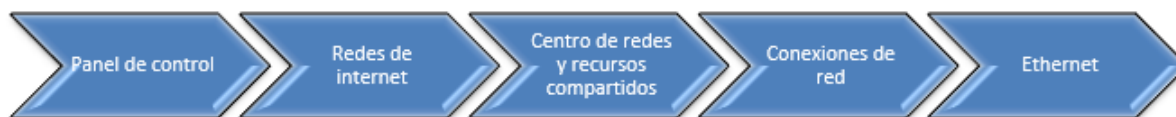


Figura 38. Configuración de Puertos PLC- Ordenador.

Fuente: Autores.

Al ingresar al puerto Ethernet, se realiza la respectiva configuración de la dirección IP manual, donde elaboramos la escritura de la dirección más cercana a la de nuestro PLC delta, en este caso se utilizó la 192.168.1.2 y la máscara subred 255.255.255.0 para crear y gestionar la conexión de comunicación con el COMMGR para PLC series Delta DVP con el software ISPSoft. En el Anexo 10 se encuentra la configuración y forma de comunicar el PLC.

- ✓ **Paso 4.** Luego de realizar la configuración de la dirección IP del PLC delta, se procede a crear la comunicación entre el COMMGR y el software ISPSOFT y en primera instancia se ingresa a “configure” y posteriormente se selecciona el tipo de “connection setup” para este caso es de tipo Ethernet, luego se realiza una búsqueda automática en el botón “search”, donde es posible reconocer el PLC que es de referencia DVP12SE con dirección 192.168.1.5, se selecciona y se presiona “ok”, de esta manera se podrá ingresar al software ISPSOFT para la configuración final. Las indicaciones, imágenes y procedimiento se encuentran en el Anexo 12.
- ✓ **Paso 5.** Se ingresa al software ISPSOFT para realizar la comunicación con el PLC seleccionando la opción “Tools” y luego la opción “communication settings”, posteriormente se busca el driver desplegando la flecha que en este caso es driver 1 el cual nos indica la dirección IP Address 192.168.1.5 y se presiona “ok”. Las indicaciones descritas se encuentran en el Anexo 13.

3.8.2. Comunicación EZ-ZONE RM

Para la comunicación entre los controladores EZ-ZONE RM y el ordenador PC, donde el protocolo de comunicación que tenemos está dado por el convertidor 485 - USB. La interacción entre equipos se puede ver en la **Figura 39**.

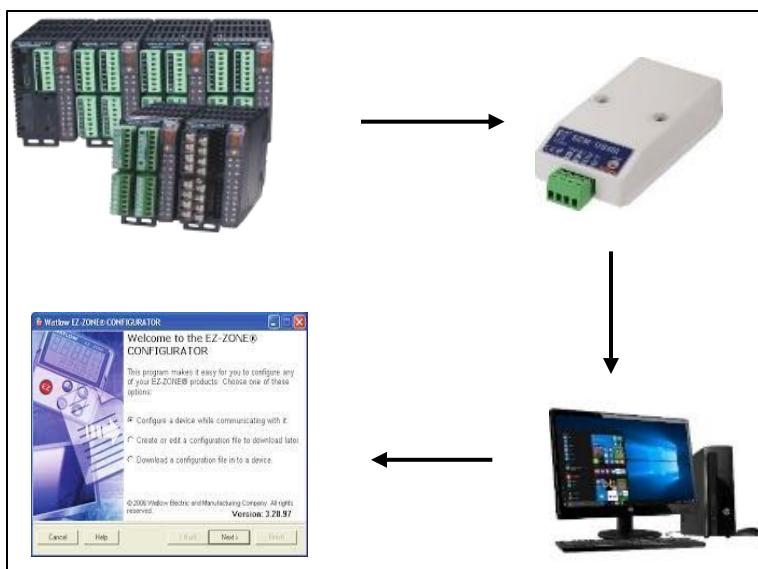


Figura 39. Configuración EZ-ZONE RM.
Fuente: Autores.

Para la correcta configuración y comunicación de los equipos se siguieron los siguientes pasos:

- ✓ **Paso 1.** La selección del convertidor 485 a USB para el presente proyecto se utilizó la versión SCM-US48I USB to Serial Converter (convertidor de señal USB a serial), en el Anexo 15 se encuentra el protocolo de conexión. Adicionalmente, en la **Figura 40**, se muestra la forma correcta de realizar la conexión del convertidor 485.

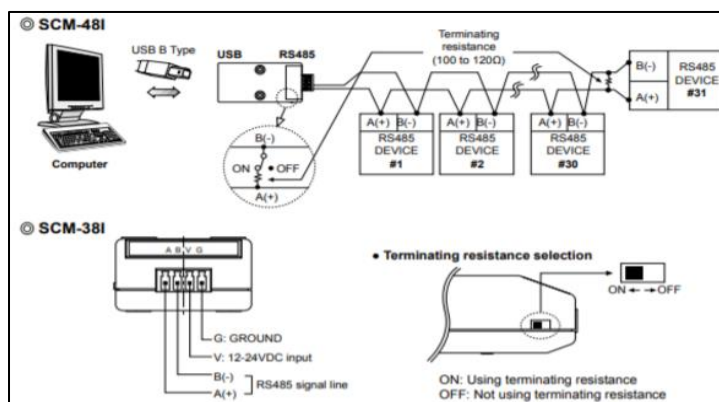


Figura 40. Forma de Conexión Convertidor 485.

- ✓ **Paso 2.** Se instala el driver suministrado por el proveedor en este caso se utilizó driver installation (SCM-WF48, SCM-US48I, SCM-US), en el Anexo 13 se puede encontrar el paso a paso de la instalación, al finalizar se debe encontrar en el administrador de dispositivos el driver trabajando correctamente.

- ✓ **Paso 3.** La conexión 485 se realiza con el módulo RMS Watlow, el cual es el módulo encargado de la comunicación. En el Anexo 14 se puede observar el manual que indica los pines de conexión.
- ✓ **Paso 4.** Se realizó la descarga e instalación del software por medio de la página www.watlow.com, luego de ingresar a la página se dirige a la pestaña de descargas y en la opción “software and demos” se selecciona la opción “EZ-ZONE Configurator Software Download V6.1” esto se puede apreciar en el Anexo 16.
- ✓ **Paso 5.** Al terminar la instalación se ejecuta el programa y se procede a verificar la lectura de los equipos por medio de la comunicación 485 ya configurada, para esto se selecciona la opción “configure a device while communicating with it”, luego se selecciona el puerto COM, tal como se muestra en la **Figura 41**, seguidamente se realiza el scanner de los RM vinculados el cual muestra una lista de los RM listos para trabajar finalizando la configuración para realizar la programación.



Figura 41. Conexión del Controlador EZ-ZONE RM.

Fuente: Autores.

En el anexo 17 y 18 se puede observar las conexiones de los controladores EZ-ZONE RM con cada una de las configuraciones explicadas anteriormente.

3.9. Programación PLC Delta DVP-12SE

La programación del PLC DVP-12SE se realizó por medio del software Delta ISPSOFT. Esta se realizó por medio del lenguaje de programación Ladder para cada uno de los procesos necesarios, para lo cual tenemos los siguientes programas: entradas digitales, salidas digitales, sistema automático, control resistencias, control vacío, control presión y alarmas.

Para la programación en Ladder, como se observa en el Anexo 33 y 34, se tomó el apoyo de las memorias virtuales para utilizarlas como salidas digitales para la visualización del dato en el IFIX SCADA, lo que ayuda a evitar el uso de salidas físicas de los módulos del PLC para una mayor eficiencia y reducción de costos. En el anexo 35 a 37 se muestra la lógica de programación por

medio un diagrama de flujo pseudocódigo. Y así mismo, la configuración y programación del PLC mediante lenguaje Ladder en el Anexo 66.

3.10. Programación RM Watlow

La programación de los RM Watlow se realizó por medio del software EZ-ZONE RM, programación encontrada en el Anexo 38 el cual es el encargado de realizar el control de las válvulas modulantes de entrada y salida de presión y la válvula modulante de entrada de agua. El control de calentamiento PID se realizó por medio de las condiciones de fabricación y de forma automática el control de la moto ventilador, bomba de vacío y bomba de agua para el proceso de laminado de vidrio.

El módulo RMC, es el encargado de las entradas y salidas analógicas y de las condiciones de fabricación de control que se implementaron en este proyecto, para esto se contó con el menú de parámetros que permiten realizar la configuración el cual se realizó de la siguiente manera:

- ✓ **Analog Input.** En este parámetro realizamos la configuración del tipo de entrada analógica de los siguientes sensores: para las válvulas modulantes, sensor tipo 4-20 Ma y para los transmisores de vacío, sensor tipo K -18 inHg.
- ✓ **Control Lopp.** En este parámetro se configuró el tipo de control para las entradas analógicas que se requería, para esto se configura el algoritmo de calentamiento y el algoritmo de enfriamiento, la cual ofrece las opciones PID y control ON/OFF que para este caso se usó el parámetro PID.
- ✓ **Alarm.** El parámetro de alarmas establece los parámetros de SET/POINT por desviación o por proceso, esto se evidencia en la Tabla 8.

Tipo de Alarma	Desviación/Proceso	Set/Point	
		Low	High
Temperatura	Proceso	10	150
Vacío	Desviación	-1	1
Presión	Proceso	32	130

Tabla 8. Parámetros de SET/POINT del Proceso.

Fuente: Autores.

- ✓ **Profile.** Se determinó las condiciones de fabricación dadas por la empresa AGP para los diferentes tipos de laminado de vidrio las cuales indican: el tipo de paso, si es por tiempo o es un sostenimiento del SET/POINT, el SET/POINT de temperatura en un determinado tiempo de la condición de fabricación, el SET/POINT de presión en un determinado tiempo

de la condición de fabricación y los eventos de ON/OFF de la bomba agua, compresor aire, bomba vacío y motor ventilador.

En el Anexo 44, se puede observar un ejemplo de las condiciones de fabricación presentadas para el proceso de laminado de vidrio.

3.10.1. Programación Módulo RMA

En la programación del módulo RMA se realizó la configuración de la comunicación Ethernet para establecer la lectura de datos por parte del iFIX SCADA, la dirección establecida fue la 192.168.2.109, como se aprecia en la imagen del Anexo 45.

3.10.2. Programación Módulo RMS

En la programación del módulo RMS se realizó la configuración de la designación de los eventos dentro de las condiciones de fabricación, como se muestra en la Tabla 9.

Evento	Designación	Estado
Evento 1	Moto Ventilador	Automático
Evento 2	Bomba de Agua	Automático
Evento 3	Compresor de Aire	Automático
Evento 4	Bomba de Vacío	Automático

Tabla 9. Programación Módulo RMS.

Fuente: Autores.

Seguidamente, se habilitan las entradas analógicas para las termocuplas tipo K, para las cuales se referencia su conexión en el Anexo 46, además en el Anexo 47 se muestra la lógica de programación del RMS WATLOW para el sistema de vacío, por medio un diagrama de flujo pseudocódigo.

3.11. Diseño y Programación iFIX SCADA

Para el sistema de supervisión y control se utilizó el software iFIX SCADA, ya que la plataforma HMI/SCADA de GE Digital usa las últimas tecnologías para acelerar el análisis de eventos así como su fácil comunicación con los diferentes controladores y equipos gracias a sus drivers como lo es el MBE, encargado de la comunicación Ethernet y el driver MB1 y de la comunicación RS232 y RS485, además debido su fácil operación permite que los técnicos operen de manera más eficiente. iFIX SCADA introduce varias mejoras destinadas a reducir el tiempo de realización de las interfaces y aumentar la eficiencia operativa, así mismo, permite que la información se trabaje de manera segura y al mismo tiempo reduzca costos y riesgos.

3.11.1. Descarga e Instalación iFIX SCADA y Drivers

iFIX SCADA se descarga por medio de la página www.ge.com, allí se busca el demo instalador, en donde primero se debe realizar el registro de ciertos datos que solicita el proveedor, en este caso se utilizó iFIX SCADA versión 6.1, en el Anexo 27 se observa la descarga y las indicaciones de la instalación, para finalmente ejecutar el “InstallFrontEnd.exe”.

Posteriormente se realiza la instalación de Install iFIX 6.1, luego de ello ya podrá ser utilizado en modo demo, de igual manera se realiza la descarga de los drivers MBE Y MB1, en donde seguidamente se procede a realizar su instalación tal como se aprecia en el Anexo 27.

3.11.2. Diseño de Interfaz

Para crear la experiencia de usuario correcta, el iFIX SCADA, ofrece objetos y plantillas predefinidos diseñadas para garantizar facilidad y máximo rendimiento. Para esto cuenta con diseños HMI listos para usar, con el fin de optimizar los tiempos de solución de problemas. También permite el ensamblaje de contenido gráfico creado en editores externos y publicación automática de imágenes en diferentes formatos, este procedimiento se puede observar en el Anexo 28. Antes de comenzar con el diseño y montaje de todos los componentes del sistema SCADA se comprueba la comunicación entre los dispositivos y el ordenador principal evitando que se presenten inconvenientes durante la ejecución, ver **Figura 42**.



Figura 42. Comprobación Comunicación Sistema – Ordenador.

Fuente: Autores.

Para la construcción del diseño del sistema SCADA se realizaron los siguientes pasos:

- ✓ **Paso 1.** Al ingresar al iFIX SCADA se tendrá la pantalla, la cual es el área de trabajo, en la parte izquierda de la pantalla se observa el menú iFIX donde se encuentran todas las

herramientas necesarias para la configuración y diseño, tal como se observa en el anexo 28.

- ✓ **Paso 2.** Luego de esto, se crean las pantallas de visualización, lo cual se realizó en la pestaña “home”, posteriormente se hace click en la opción “picture”, como se puede ver en el anexo 28.
- ✓ **Paso 3.** Al tener el diseño se escogen los colores dando click derecho en la opción “picture” y luego en “edit picture”, se escoge la opción “background color” em donde se escogen los colores de preferencia.
- ✓ **Paso 4.** Se escogen los elementos predeterminados en el iFIX para la visualización del proceso, esto se realiza en las herramientas iFIX donde se podrá desplegar la pantalla “dynamo sets” y encontrar todo lo necesario para la ejecución del proyecto.
- ✓ **Paso 5.** Se realiza la elaboración de las pantallas más importantes para el proceso de supervisión y control las cuales pueden ser visualizadas en la pantalla principal.
- ✓ **Paso 6.** Se elabora el diseño de la autoclave 034 por medio de AutoCAD, en el cual se tuvo en cuenta la geometría de la máquina, el diseño se puede exportar como imagen desde la opción “insert” para luego en la pestaña “bitmap” buscar la imagen y subirla a la pantalla principal del SCADA.
- ✓ **Paso 7.** Se realizan las tablas de seguimiento de proceso y el seguimiento de temperatura las cuales son necesarias, estas se realizan en Excel y posteriormente se insertan como imagen al iFIX SCADA.
- ✓ **Paso 8.** Ya con todos los elementos necesarios para el diseño de pantalla de inicio se procede a organizar y añadir texto para nombrar e identificar los equipos y así mismo añadir los datalink en la pestaña “objects/links” los cuales son necesarios para traer los datos en tiempo real del PLC delta y del EZ ZONE RM. En la **Figura 43**, se puede observar el diseño final de la pantalla principal, donde se evidencia el seguimiento para las variable de presión, temperatura y vacío, así mismo se evidencia el diseño de la autoclave 034 y los equipos tales como las válvulas modulantes de presurización, despresurización, entrada de agua, y la bomba de vacío.



Figura 43. Diseño del Sistema SCADA.

Fuente: Autores.

3.11.3. Pantallas IFIX SCADA

Posterior a la instalación del sistema SCADA, se hace seguimiento a todo el montaje como se observa en la **Figura 44**. En el Anexo 28, es posible observar el diseño de todas las pantallas.



Figura 44. Seguimiento Sistema SCADA.

Fuente: Autores.

- ✓ **Seguimiento.** En esta pantalla se optó por utilizar un plano de imagen 2D donde se pudiera visualizar en tiempo real las variables digitales ON/OFF, esto para que el operario pueda verificar que el equipo este trabajando correctamente o de lo contrario, pueda intervenir en el momento que se presente alguna falla, ver **Figura 45**.

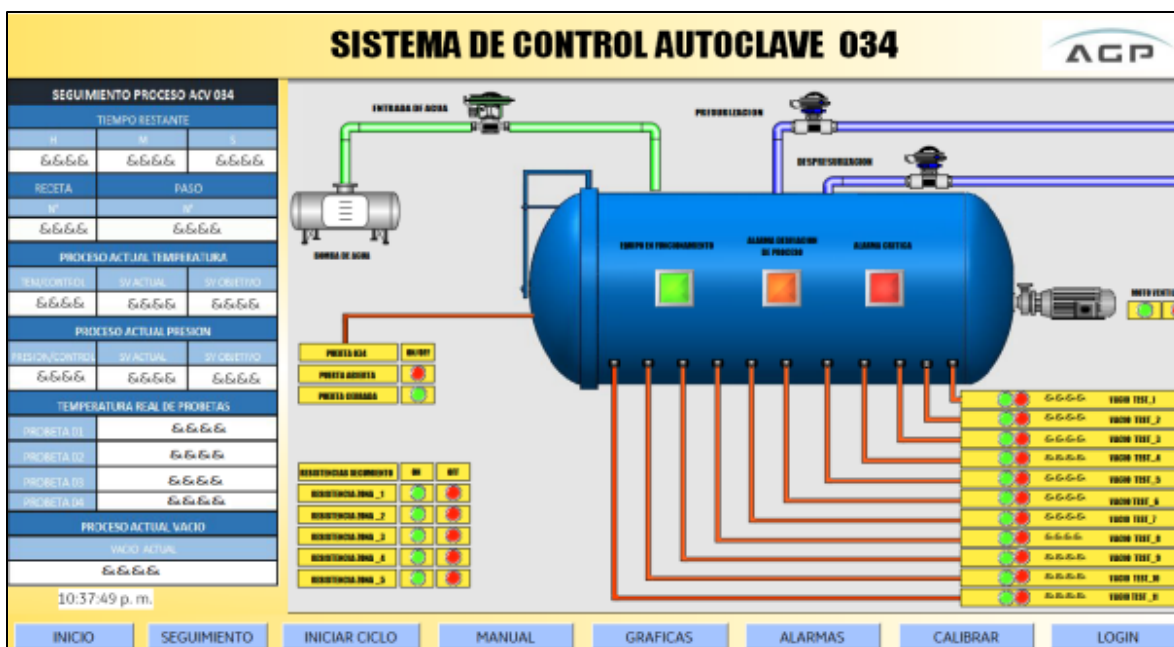


Figura 45. Pantalla Seguimiento SCADA.

Fuente: Autores.

- ✓ **Iniciar ciclo.** Esta pantalla se utiliza para el lanzamiento de las condiciones de fabricación proporcionadas por la empresa AGP, aquí es donde se puede observar el tiempo de trabajo el paso de la fabricación y hacer un accionamiento manual para pausar, continuar o finalizar el proceso dependiendo de lo que amerite la situación de trabajo.
- ✓ **Manual.** Fue indispensable la implementación de una pantalla que pudiera controlar de forma manual cada uno de los elementos incluidos en este proceso, esta pantalla trabaja las señales digitales de ON/OFF y se encuentra dividida por el control manual de calentamiento, control manual de vacío, control manual de las válvulas modulantes y finalmente el control manual de los contactores de la bomba de vacío y de agua, el moto ventilador, ventilación del tablero de control y una bomba auxiliar de vacío.
- ✓ **Gráficas.** Para la pantalla de graficas se realizó un esquema general que permitiera visualizar en tiempo real el comportamiento de las variables de vacío, presión y temperatura, esto con el fin de poder de generar un historial que permita hacer un análisis de eficiencia en el proceso de fabricación de vidrio laminado.
- ✓ **Alarmas.** Una de las pantallas más importantes del sistema de supervisión y control es la de alarmas ya que esta es la encargada de alertar a los operarios acerca de posibles fallas en el proceso, así como también genera un historial de fallas, estas están basadas en los rangos permisibles de las variables de control, lo que permite verificar el tipo de falla en el

sistema, en la **Figura 46**, se puede evidenciar la comprobación de las alarmas de la autoclave 034.



Figura 46. Comprobación de Alarmas.

Fuente: Autores.

- ✓ **Calibración.** La pantalla de calibración se creó con el fin de que el área de instrumentación de la empresa AGP pudiera calibrar los sensores presentes como lo son la termocupla tipo K para la temperatura y los transductores de presión y vacío esto con el fin de garantizar la confiabilidad de los datos, ver **Figura 47**.

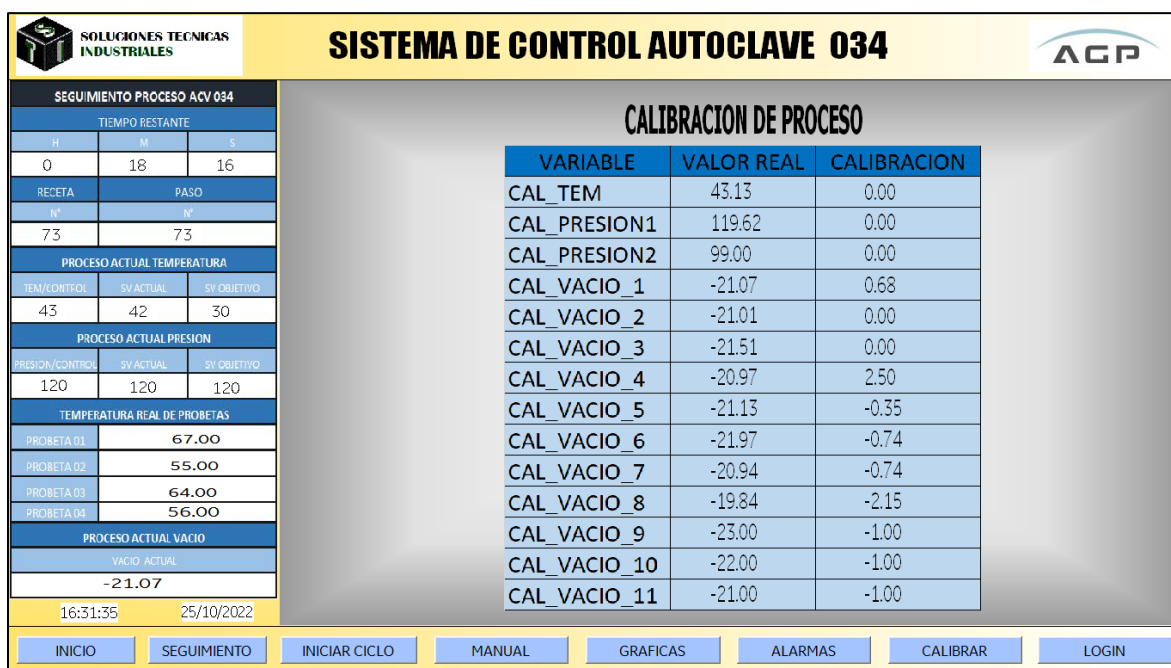


Figura 47. Calibración del iFIX SCADA.

Fuente: Autores.

- ✓ **Login.** Es la ventana que permite al usuario ya sea operario o supervisor ingresar a la interfaz del iFIX SCADA, para la supervisión del proceso. Para ello, se ingresa a la pestaña “applications” y luego en “security”, allí se desplegará una pantalla llamada “security configuration” en donde se podrán crear usuarios con su respectiva clave.

3.11.4. Configuración Drivers de Comunicación

Para la configuración de los drives, se ingresa a la pestaña “applications”, luego se selecciona la opción “SCU”, esto abrirá una pantalla que permite realizar la configuración, seguimiento y configuración mostrada en el Anexo 29. Al estar en el “SCU”, se oprime click en la pestaña “configure”, la cual dará ingreso a nueva ventana en donde al oprimir click en la opción con el símbolo “(.)”, desplegará una última ventana la cual contiene todos los drivers, para el caso del proyecto se utilizó el MB1 y el MBE para finalmente agregarlos y oprimir la opción “aceptar”, culminando la lista la configuración.

3.11.5. Comunicación PLC DELTA y RM WATLOW – iFIX SCADA

Para esta comunicación se realizó la siguiente configuración, en donde se debe ingresar a las herramientas IFIX, allí se desplegará la carpeta “I/O drivers” y se abrirá el driver MBE para la comunicación Ethernet. En la parte inferior, se agrega el canal de comunicación por medio de dirección IP address y se agregan los equipos, que para este caso se nombraron: PLC_034 y RM_034. Respecto a la configuración de los equipos, se tiene para el PLC Delta la dirección 192.168.1.5 y para el RM 192.168.2.109. Por último, se crean los Datablock los cuales son la designación de los tags y las direcciones modbus de los mismos, estos representan un dato analógico o un dato digital en la casilla “startind address”, seguidamente se debe diligenciar la dirección Modbus que se quiere representar. Por último se deberá indicar el “data type”, el cual, se puede verificar apartir del manual, según la variable a trabajar. Cada una de las configuraciones mencionadas y explicadas anteriormente se encuentran en los Anexos 39 a 42.

3.11.6. Comunicación Modbus PLC – RM WATLOW con IFIX SCADA

Para la realización de esta comunicación, primeramente se buscan las direcciones Modbus en los manuales de los equipos tal como se observa en la Figura 48. Para el caso del proyecto, el registro Modbus empieza desde el 40001, seguidamente, se debe buscar para cada parametro a controlar. Para las entradas analógicas del PLC del 1 a 16, tenemos que la dirección es la 380 con una separación OFF/SET de 90, hasta la siguiente. Ver Anexo 43.

Modbus RTU Protocol
 All Modbus registers are 16-bits and as displayed in this manual are relative addresses (actual). Some legacy software packages limit available Modbus registers to 40001 to 49999 (5 digits). Many applications today require access to all available Modbus registers which range from 400001 to 465535 (6 digits). Watlow controls support 6 digit Modbus registers.

RM Scanner Module • Operations Page								
Display	Parameter Name Description	Range	Default	Modbus Relative Address	CIP Class Instance Attribute hex (dec)	Pro-fibus Index	Parameter ID	Data Type and Access **
Analog Input Menu								
Ain	Analog Input (1 to 16) Analog Input Value View the process value. Note: Ensure that the Error Status (below) indicates no error (61) when reading this value using a field bus protocol. If an error exists, the last known value prior to the error occurring will be returned.	-1,999.000 to 9,999.000° F or units -1,128.000 to 5,537.000° C	----	380 [offset 90]	0x68 (104) 1 to 16 1	0	4001	float R
No Display	Analog Input (1 to 16) Filtered Process Value View the process value when filtering is turned on.	-1,999.000 to 9,999.000° F or units -1,128.000 to 5,537.000° C	----	422 [offset 90]	0x68 (104) 1 to 16 0x16 (22)	----	4022	float R
i.Er	Analog Input (1 to 16) Input Error View the cause of the most recent error. If the REn message is Er.11 to Er.19 or Er.1B to Er.1E , this	none None (61) OPEn Open (65) Shrt Shorted (127) EPn Measurement Error (140)	----	382 [offset 90]	0x68 (104) 1 to 0x10 2	1	4002	uint R

Figura 48. Protocolo Modbus.
 Fuente: Manual PLC

Para la programación del PLC se utilizan las memorias internas, para memoria uno (M1) la dirección Modbus empieza desde la 002049, a partir de esto, se realiza un listado de las memorias que se utilizaron. Ver Anexo 44.

Luego de esto, se debe realizar la base de datos, en la herramienta “fix” se abre el “database manager” el cual, se utiliza para designar los tags que se utilizaron para el proceso de control.

Al designar el nombre del tag, el programa solicitará el tipo de dato, el cual puede ser: digital, analógico o booleano, el tipo de comunicación para el PLC, es la MBE y la dirección Adrees Modbus la cual creamos en la configuración. En la Figura 49, se muestra cómo se debe realizar la correcta designación de la dirección.



Figura 49. Designación de Direcciones.
 Fuente: Autores.

3.12. Puesta en Marcha

Luego de haber realizado el montaje y la implementación del sistema de supervisión y control, para el proceso de fabricación de vidrio laminado en la empresa AGP Colombia, siguiendo el

cumplimiento de los objetivos y el desarrollo metodológico, se procese a ejecutar el sistema para realizar una serie de verificaciones y toma de datos, que permita, que la entrega final del proyecto cuente con óptimas condiciones y un funcionamiento eficiente. Es así que, para el arranque de la autoclave, previamente se realizó una serie de pruebas de funcionamiento, para cada uno de los componentes que conforman el sistema.

En el proceso de puesta en marcha, se efectúan pruebas manuales por medio del software IFIX donde en la pantalla principal, por medio del botón manual, se realiza el accionamiento de las bombas de vacío, las bombas de agua, el accionamiento del motor ventilador y el accionamiento del compresor de aire. También, se verifica los índices de seguridad, las corrientes de los DIN-A-MITE, para que cumplan los requerimientos del sistema; esto para la protección tanto de los equipos de potencia, como para los de control. Para ello, se realizaron mediciones de corriente, y así se logra verificar que no presente corto circuito en las líneas de potencia, ni continuidad entre los equipos en cada una de las líneas. Adicionalmente, se realizaron pruebas de calentamiento sin presión, para verificar el correcto funcionamiento de las resistencias dentro del proceso de calentamiento, llevando estas resistencias hasta su temperatura máxima, permitiendo captar estos valores para que cumplan con los estándares necesarios del proceso en cuanto a la potencia del sistema. Seguidamente, se cambian los parámetros de los SET POINTS de las variables de temperatura dejándolos en unos valores más bajos, y así, comprobar el funcionamiento de las alarmas, para que en caso de que estos valores se excedan, se detenga el sistema y el proceso, y así mismo evitar posibles accidentes. La presión, se pone en funcionamiento con el llenado del tanque, llegando a su presión máxima, verificando que los parámetros cumplan los estándares. Este procedimiento se realiza con cada una de las variables de esta implementación para poder dar cumplimiento al buen funcionamiento del proyecto.

Además, se realiza la calibración de los equipos de seguridad y sensores, donde se verifican los transductores de presión y las válvulas de seguridad, de la misma manera, se realiza un cambio en el SET POINTS en la variable presión, para verificar el sistema de alarmas y de seguridad.

Para el vacío, se realizaron pruebas en donde se activa la bomba de vacío, y por medio de la señal del transductor de vacío, se verifica que los valores reales correspondan a los valores establecidos y que se encuentren dentro del rango. Luego, se observa el proceso por un determinado tiempo asegurándose de la estabilidad y funcionamiento del mismo.

Finalmente, se realiza un ensayo con vidrios de prueba, suministrados por empresa AGP de Colombia, y se ingresa una de las condiciones de fabricación establecidas, donde se busca comprobar que el producto final cuente con óptimas condiciones, respecto a calidad y cumpla con el tiempo requerido por cada condición de fabricación. Esto conlleva, a que se garantice que los procesos, por medio de las pruebas realizadas, sean satisfactorios y aprobados por parte de la empresa AGP, para una total puesta en marcha del proceso de laminado de vidrio.



Figura 50. Puesta en Marcha del Proceso.

Fuente: Autores.

3.13. Implementacion del Software GE DIGITAL Historian para Análisis de Datos.

Para el análisis de datos, se realizó la instalación del software GE DIGITAL HISTORIAN, descargado de la pagina oficial de GE GITIAL, en los Anexos 28 y 29 se muestra la instalacion de los de los colectores, los cuales son los driver para la comunicación con el IFIX SCADA y para el almacenamiento y visualizacion de datos por medio de excel. En la Figura 51, se muestra la relacion entre el IFIX SCADA y el GE HISTORIAN con sus drivers.

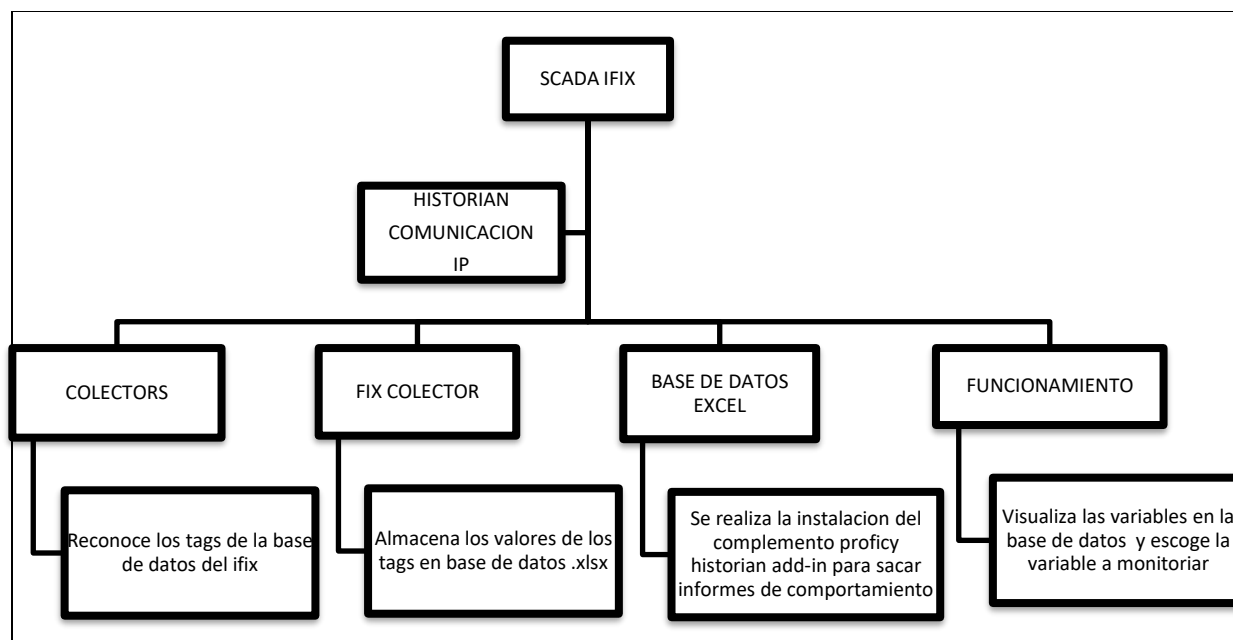


Figura 51. *Comunicación Entre IFIX SCADA y GE HISTORIAN*
Fuente: Autores.

4. Análisis de Resultados

Se realizó la prueba #1 donde nos arrojó la siguiente grafica durante un proceso de 12 horas. El sistema de supervisión y toma de datos realizado por la empresa AGP, se elaboraba por medio de un formato de seguimiento, el cual, puede observarse en el Anexo 29. Este era diligenciado por cada uno de los operarios presentes en el turno del proceso de laminado de vidrio, para seguidamente, ser entregado al área de procesos, en donde, se encargaban de evaluar y analizar el comportamiento del proceso de fabricación del vidrio laminado. Gracias a la implementación del GE DIGITAL HISTORIAN, se permitió realizar el análisis de los datos de manera automática, por medio de una base de datos que trabaja en tiempo real, la cual, permite obtener un historial de datos para el análisis del comportamiento de cada una de las variables. A continuación, se presenta el análisis y los resultados obtenidos por medio del GE HISTORIAN.

4.1. Análisis de Resultados de la Variable de Temperatura

En la Figura 52, se encuentra el comportamiento de la variable temperatura, con el sistema de control PID comparado con el sistema de control ON/OFF. Se observa, que en la curva del proceso de calentamiento de la autoclave 034 con el control ON/OFF, se genera ruido e inestabilidad del sistema, lo cual, perjudica la calidad del producto, los tiempos de operación y el consumo energético. Además, se observa el funcionamiento del control PID, en el cual, la estabilidad del

proceso con respecto al SET/POINT, garantiza precisión en el proceso, eliminando la oscilación y aumentando su eficiencia.

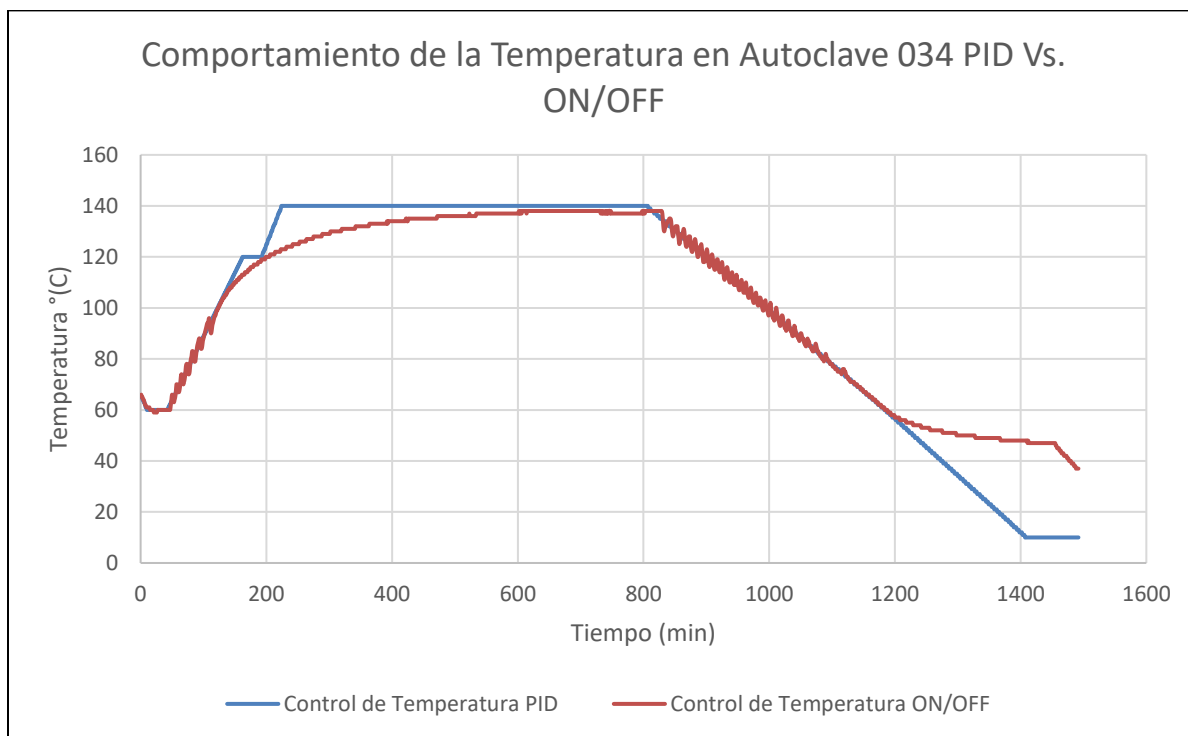


Figura 52. *Comportamiento del Proceso Manual Vs Automático.*

Fuente: Autores

4.2. Análisis de Resultados de la Variable Presión

En la Figura 53, se encuentra el comportamiento de la variable de presión, por medio del sistema de control ON/OFF, mediante el cual, se pudo determinar mediante el registro de datos, que presentaba problemas, en cuanto a la estabilización del sistema para alcanzar el SET/POINT establecido de la curva de proceso, generando ruido e inestabilidad y futuros daños en el compresor de aire, debido al comportamiento de trabajo, así como también, aumento en el gasto energético por sobreconsumo de aire comprimido. Adicionalmente, en la Figura 54, se puede apreciar el comportamiento de la variable de presión por medio del sistema PID, el cual, garantizó una alta precisión, en cuanto a la curva del proceso y control del paso de flujo de aire a la autoclave 034.

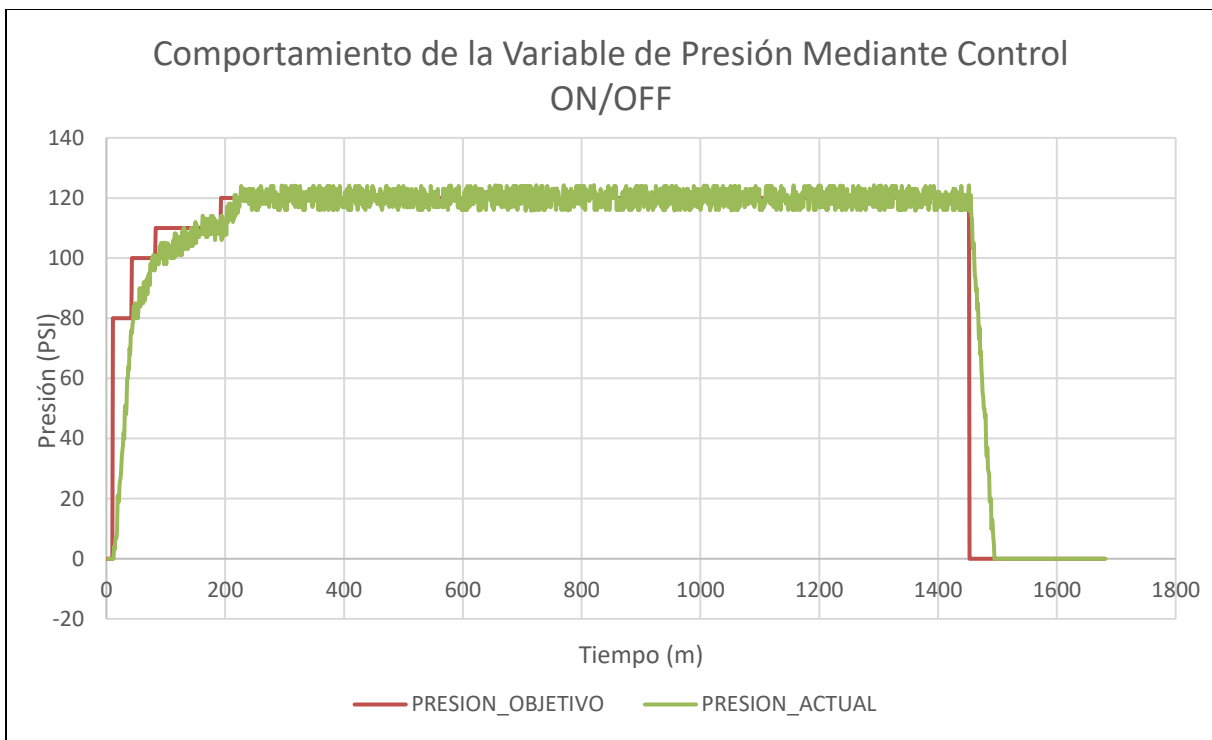


Figura 53. *Comportamiento De La Variable De Presión Mediante Control On/Off.*
Fuente: Autores.

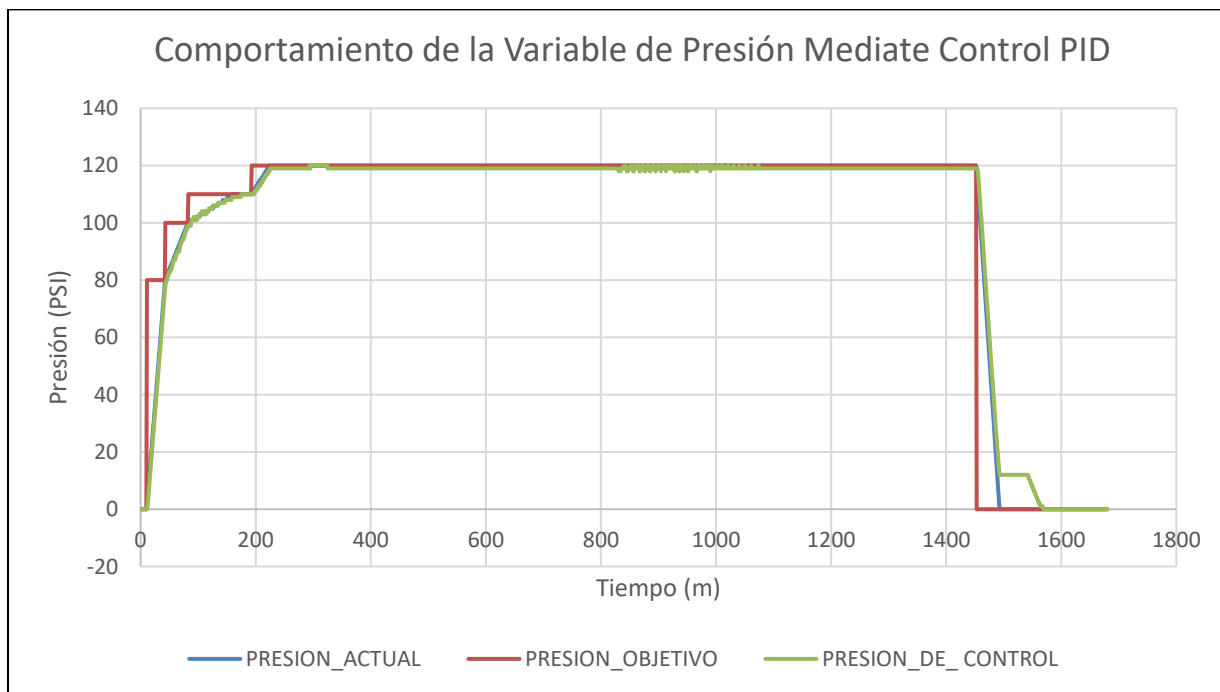


Figura 54. *Comportamiento de la Variable de Presión Mediante Control PID.*
Fuente: Autores.

4.3. Análisis de los Resultados de la Variable Vacío

Gracias al control y supervisión de la variable de vacío, se pudo verificar que ésta cumple con los rangos establecidos para el proceso, arrojando una variación de +/- (-1) bar con respecto al SET/POINT. De esta manera se garantizó el óptimo funcionamiento del sistema de vacío, evitando alteraciones en los valores de producción y garantía del producto final, ver Figura 55.

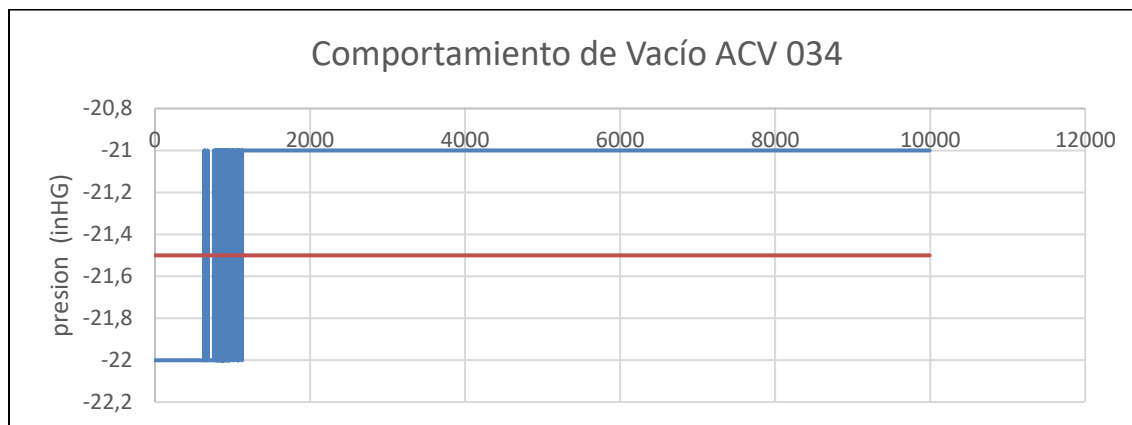


Figura 55. Comportamiento Variable de Vacío.

Fuente: Autores.

4.4. Análisis del Consumo de Energía

Por medio de la implementación de un sistema de control automático para la fabricación de vidrio laminado, también, se realizó un análisis del consumo de energía, se comparó el consumo del sistema manual con respecto al sistema automático y evaluó la optimización y el ahorro de energía reflejado a partir de esta implementación, como se detalla en la Figura 56.

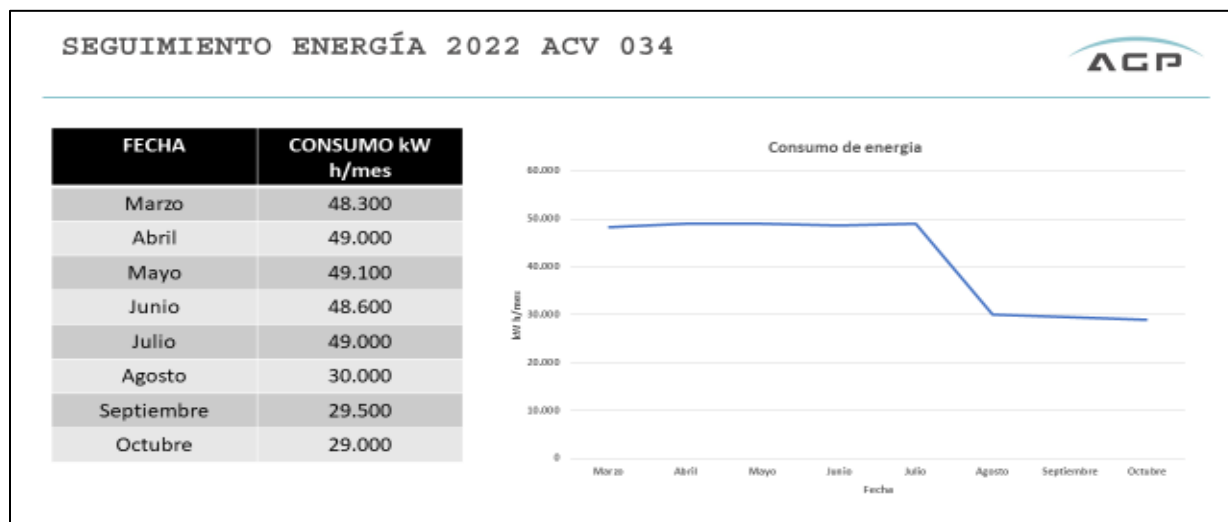


Figura 56. Consumo de Energía Autoclave Año 2022.

Fuente: Autores

4.5. Entrega del Proyecto a la Empresa AGP Colombia

Con la ejecución y puesta en marcha del proyecto de implementación de un sistema de supervisión y control, la empresa certifica el funcionamiento óptimo del sistema SCADA, gracias a la interacción de los diferentes softwares con los dispositivos de control, dando como resultado la satisfacción con el producto final. De esta manera, se concluye como terminada la etapa final del proyecto.

5. Conclusiones

- ✓ De acuerdo con el estudio previo realizado del funcionamiento de la máquina autoclave 034, y frente al comportamiento de las variables del proceso (temperatura, presión y vacío), se logró identificar que se presentaban diferencias con respecto a los estándares definidos por parte del área de ingeniería de proceso de la empresa AGP de Colombia. Con esta caracterización se pudo determinar que estas variaciones podrían afectar la calidad del producto, siendo corregidas gracias a la implementación del sistema de supervisión y control.
- ✓ Por medio del diseño y elaboración de los planos eléctricos, se pudo identificar los elementos, materiales e insumos requeridos para la implementación del sistema de control y supervisión. Estos fueron: sistemas de potencia, sensores y actuadores de campo, sistemas de control analógicos y digitales, sistemas de supervisión y sistemas de comunicación, lo cual, permitió evaluar los costos y tiempos empleados para el desarrollo del proyecto. Adicional a ello, la información presentada en los planos eléctricos elaborados, le permite a la empresa AGP contar con las herramientas necesarias para realizar un respectivo plan de mantenimiento y prevenir futuras fallas en la autoclave 034.
- ✓ Con la implementación del sistema de supervisión IFIX SCADA, se garantizó la interacción del operador con las variables del proceso: temperatura, presión y vacío, donde para cada variable, el operador podrá visualizar las curvas de tendencia en tiempo real comparadas con las condiciones de fabricación, y así, poder determinar y tomar acción, cuándo una variable está fuera de los parámetros establecidos por el proceso. Adicional a ello, a través del sistema de supervisión, se programaron estados de alarma por desviación del proceso, lo cual, permite identificar fallas en tiempo real. Por otra parte, el EZ- ZONE,

permite configurar los parámetros de los sistemas de control como termocuplas y transductores e interactuar con los sistemas de control tales como: actuadores, válvulas, contactores, con el fin de controlar las variables temperatura, presión y vacío, asegurando que se cumplan respecto a las condiciones de fabricación establecidos por la empresa AGP de Colombia.

- ✓ Con la implementación del sistema de supervisión y adquisición de datos, por medio del software IFIX SCADA e HISTORIAN, AGP de Colombia cuenta con una base de datos, donde para cada variable, se puede obtener el valor de su comportamiento en tiempo real. Además, esta información puede ser exportada en programas de registro de datos (Excel,SQL). Esto permite analizar e identificar desviaciones en el comportamiento de las variables del proceso, y así mismo, prevenir posibles fallas o inconsistencias en el proceso de laminado de vidrio y realizar mejoras que garanticen la estabilidad de la productividad.

Referencias Bibliográficas

- [1] G. Digital, “Proficy Historian.” 2022, [Online]. Available: <https://www.ge.com/digital/applications/proficy-historian>.
- [2] R. de Arellano, “La Digitalización y la Industria 4.0. Impacto industrial y laboral,” *Septiembre* 2017, 2017. <https://industria.ccoo.es/4290fc51a3697f785ba14fce86528e10000060.pdf>.
- [3] Portafolio, “¿Cómo es la automatización de procesos en Colombia?” <https://www.portafolio.co/negocios/como-es-la-automatizacion-de-procesos-en-colombia-536586>.
- [4] J. E. Arias Torres, “Riesgos a los sistemas SCADA, en empresas colombianas,” *instnameUniversidad Pilot. Colomb.*, 2014, [Online]. Available: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/2804>.
- [5] COPADATA, “¿Qué es SCADA?,” 2021. <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-es-scada/#:~:text=SCADA es el acrónimo de,registrar datos de sus operaciones>.
- [6] C. Felman, “¿Cómo se descubrió el Vidrio Laminado de Seguridad?,” *18 Febrero 2019*, 2019. <https://felman.es/como-se-descubrio-el-vidrio-laminado-de-seguridad/#:~:text=El vidrio laminado de seguridad fue inventado por casualidad en,roto%2C los fragmentos seguían unidos>.
- [7] AGP de Colombia, “AGP Glass,” 2022. <https://agpglass.com/>.
- [8] VIDRESIF, “Vidrio Laminado,” [Online]. Available: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/182034/140386499_8_92_vidre_laminat.pdf.
- [9] L. Miguez, “Instalación de planta de fabricación de vidrio laminado plano,” in *Legajo* 59893, Lugajo, 2015.
- [10] Q. MexiBras, “Polivinil Butiral.” <https://q-mexibras.com.mx/productos-quimicos/polivinil-butiral/>.
- [11] “Vidrio Laminado,” 2022. <http://www.vyamexico.com.mx/laminado.html>.
- [12] P. F. F. Ismael García García, Manuel López- Aenlle, “Cálculo simplificado de vidrio laminado: determinación de desplazamientos en vigas y placas ante cargas estáticas utilizando modelos monolíticos,” *Abril 25 2019*, pp. 226–236, 2019.
- [13] “Diferencias entre vidrio templado y vidrio laminado,” *Julio 24 2019*, 2019. <https://vidrio-laminado.com/diferencias-entre-vidrio-templado-y-vidrio-laminado/>.
- [14] Marcelo Gabriel Corbalan, “Desarrollo de modelos matemáticos para la optimización del proceso productivo de una línea de laminado de vidrio.,” *LACCEI Int. Multi-Conference Eng. Educ. Technol.*, 2020, [Online]. Available: http://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/student_papers/SP670.pdf.
- [15] A. Bulbena, “El Vidrio Laminado,” *10 Abril 2018*, 2018. <https://www.interempresas.net/Vidrio-plano/Articulos/215339-El-vidrio-laminado.html>.
- [16] V. Service, “¿Cómo se fabrica el vidrio laminado?,” 2022. <https://vidrioservice.com/como->

- se-fabrica-el-vidrio-laminado/#:~:text=Para laminar vidrios es necesario,con los vidrios a procesar.
- [17] M. A. S.A, “Modulos para corte y apertura de vidrio laminado,” 2019. <https://www.interempresas.net/Graficas/FeriaVirtual/Producto-Modulos-para-el-corte-y-apertura-del-vidrio-laminado-Easy-Lami-154333.html>.
- [18] InterEmpresas, “Nueva línea de vidrio laminado de Vidresif,” 2014. https://www.interempresas.net/Cerramientos_y_ventanas/Articulos/202818-Nueva-linea-de-vidrio-laminado-de-Vidresif.html.
- [19] Solutec Glass, “MAQUINARIA PARA EL VIDRIO,” 2022. <https://solutecglass.com/maquinaria-para-el-vidrio/>.
- [20] L. Jiang, “CNC de alta calidad de corte de vidrio laminado /Máquina mesa de corte,” 2022. https://es.made-in-china.com/co_jnsunshine1968/product_High-Quality-CNC-Laminated-Glass-Cutting-Machine-Cutting-Table_hoiyroony.html.
- [21] S. Autoclaves and M. S. G. & C. KG, “Autoclaves for the production of laminated safety glass,” 2022. <https://www.scholz-autoclaves.com/english/autoclaves/glass/>.
- [22] Maschinenbau Scholz, “Autoclaves,” 2022, 2022. <https://www.scholz-autoclaves.com/autoklaven>.
- [23] Surdy, “QUÉ ES UN AUTOCLAVE, PARA QUÉ Y EN QUÉ INDUSTRIAS SE UTILIZA,” 2022. <https://surdry.com/es/que-es-un-autoclave-para-que-y-en-que-industrias-se-utiliza/>.
- [24] S. Glass, “Autoclaves,” 2022. <http://solutecglass.com/máquina-vidrio/autoclaves-olmar/>.
- [25] P. Bourcier, David, A. y Koran, François, and L. Crommen, Jan, Herbert, “Procedimiento de laminación de vidrio y aparato,” 2009.
- [26] Attsuklaus, “¿QUÉ TEMPERATURA Y TIEMPO NECESITA UN AUTOCLAVE PARA LA ESTERILIZACIÓN?,” 2022. <https://www.attuklaus.com/faqs/que-temperatura-y-tiempo-necesita-un-autoclave-para-la-esterilizacion/>.
- [27] E. y Laboratorio, “Que es una autoclave,” 2022. <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/que-es-un-autoclave#:~:text=La presión elevada permite que,que lleva a su destrucción>.
- [28] M. Vacuum, “Marpa Vacuum,” 05/02/2021, 2021. <https://marpavacuum.com/como-funciona-una-bomba-de-vacio/>.
- [29] A. G. Higuera, *Control Automatico en la Industria*, II. La Mancha, 2005.
- [30] I. L. M. Lostaunau, *El Control Automático en la Industria*. 2000.
- [31] L. F. Obando, “Sistema de primer orden a lazo abierto y a lazo cerrado,” 21 Febrero 2021, 2021. <https://dademuch.com/2021/02/21/sistema-de-primer-orden-a-lazo-abierto-y-a-lazo-cerrado/>.
- [32] K. Ogata, *Ingenieria de Contorl Moderna*, 5th ed. Madrid (España), 2010.
- [33] Everest, “Sistemas Automaticos de Control,” 2022.
- [34] MathWorks, “¿Qué es el control PID?,” 2022. <https://la.mathworks.com/discovery/pid-control.html>.

- [35] R. West Control Solutions, “¿Qué es el control PID?” <https://www.west-cs.com.br/blog/es/2017/03/12/o-que-e-control-pid/>.
- [36] Anonimo, “Controlador PID,” 2022, p. 1,2.
- [37] K. Ogata, *Ingenieria de Control Moderna 3ª Edicion*, Tercera. .
- [38] A. R. Penin, *Sistemas SCADA*, Tercera Ed. Barcelona, 2012.
- [39] R. P. P. Jaume Romagosa Cabús, David Gallego Navarrete, “Sistemas SCADA,” Universidad Politécnica de Catalunya, 2004.
- [40] E. efficien Enginnering, “EPLAN Electric P8,” 2022. <https://www.eplan.com.co/soluciones/eplan-electric-p8/>.
- [41] GE Digital, “iFIX 2022.” 2022, [Online]. Available: <https://www.ge.com/digital/applications/hmi-scada/ifix>.
- [42] Watlow, “EZ - ZONE Manual del usuario.” 2009, [Online]. Available: <https://www.zesta.com/Zesta/media/User-Manuals/ES/zesta-watlow-EZ-Zone-PM-Limit-Manual-del-Usuario-espanol-Rev-G.pdf>.
- [43] Opertek, “HMI / SCADA Cimplicity,” 2022. <https://www.opertek.com/software/scada-cimplicity/#:~:text=El HMI%2FSCADA Cimplicity otorga,de los equipos y recursos>.
- [44] G. Digital, “HMI/SCADA Cimplicity,” 2022. <https://www.ge.com/digital/applications/hmi-scada/cimplicity>.
- [45] Sicma21, “¿Qué es un PLC y cuándo se usa?,” 2021. [Online]. Available: <https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>.
- [46] Intermsa, “PLC DVP-12SE,” 2022. <https://interamsa.com/catalogo/building-management-system-bms/hardware/controladores-plc/plcs/dvp-series-plc/dvp12se11r-2/>.
- [47] S. V. D. C. 2005, “PLC - Controladores Lógicos Programables,” 2005. [Online]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3124/TorresZambranoJennyKatherine2016Anexo.3.pdf?sequence=5&isAllowed=y#:~:text=Los lenguajes de programación para,esquemáticos y diagramas de bloques>.
- [48] SEIKA, “5 Lenguajes De Programación Para PLC,” 2022. <https://www.seika.com.mx/5-lenguajes-de-programacion-para-plc/>.
- [49] Sothis, “Qué es un PLC y el protocolo más utilizado,” 2022. <https://www.sothis.tech/plc-dispositivo-electronico-o-programmable-logic-controller/>.
- [50] Logicbus, “Protocolos de comunicación industriales,” 17 Junio 2019, 2019. <https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/>.
- [51] S. Electric, “Contactores y Reles de proteccion,” 2022. <https://www.se.com/co/es/product-category/1500-contactores-y-relés-de-protección/?filter=business-1-automatización-y-control-industrial>.
- [52] D. Electric, “Bases portafusibles PMX,” 2022. <https://www.dfelectric.es/es/productos/bases-portafusibles-pmx/>.
- [53] T. S. M. y control de Temperatura, “Termopar Tipo J - Información Técnica,” 2022, 2022. <https://www.tc-sa.es/termopares/tipo-j-termopar.html>.
- [54] I. Electricos, “Mini Relevó Relpol 5 Pines 24V DC Tipo Slim.”

- <https://ingecomsas.com/producto/mini-relevo-relpol-5-pines-24v-dc-tipo-slim/>.
- [55] MercadoLibre, “Transmisor de Presión,” 2022. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-835989922-transmisor-de-sensor-de-presion-4-20ma-_JM?matt_tool=14704563&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14633851827&matt_ad_group_id=122277566290&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=545410559265&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=463790999&matt_product_id=MCO835989922&matt_product_partition_id=1408934281892&matt_target_id=aud-345731277022;pla-1408934281892&gclid=CjwKCAjw79iaBhAJEiwAPYwoCL2VVIOgvgaGS_F2ecx0z5K4CVcxIZtelOzQEEjAlHmiU0dU5kFZuhoCw4YQAvD_BwE.