

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Implementación del control automático de la torre de absorción del  
laboratorio de operaciones unitarias de la  
Universidad del Valle De Guatemala

Trabajo de graduación presentado por José Gerardo de la Cruz  
Posadas para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería  
Electrónica

Guatemala,

2018








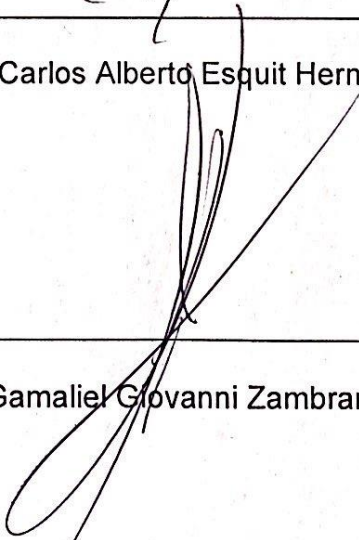
Vo. Bo. :

(f)   
Ing. Pablo Daniel Mazariegos de la Cerda

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Pablo Daniel Mazariegos de la Cerda

(f)   
MSc. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f)   
MSc. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

Fecha de aprobación: 18 de Junio del 2018

# ÍNDICE

Lista de cuadros .....	v
Lista de figuras .....	vi
Resumen .....	viii
I. Introducción .....	1
II. Objetivos.....	3
A. Generales .....	3
B. Específicos.....	3
III. Justificación .....	5
IV. Marco teórico.....	7
A. Absorción de gases.....	7
B. Automatización industrial .....	11
C. PLC (CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE).....	12
D. Convertidor I/P .....	18
E. Sensor de presión .....	19
F. Programación de PLC .....	19
V. Antecedentes.....	21
VI. Metodología.....	27
A. Familiarización del proceso .....	28
B. Determinar funcionamiento de equipo .....	28
C. Programación de PLC .....	28
D. Diseño de interfaz gráfica .....	29
VII. Resultados.....	31
VIII. Discusión .....	39
IX. Conclusiones .....	43
X. Recomendaciones .....	45
XI. Bibliografía.....	47
XII. Anexos .....	49

## Lista de cuadros

Cuadro 1. Lista de entradas del sistema .....	27
Cuadro 2. Lista de entradas del sistema .....	28
Cuadro 3. Cronograma de actividades.....	22

## Lista de figuras

Figura 1. Solubilidad de los gases en agua.....	7
Figura 2. Torre empacada .....	8
Figura 3. Empaques comunes en torres. a) anillos Rashing; b) anillo metálico Pall; c) anillo plástico pall; d) montura Berl; e) montura de cerámica Intalox; f) montura plástica Súper Intalox; g) montura metálica Intalox.....	9
Figura 4. Características de empaques para torres. ....	10
Figura 5. Solubilidad del CO <sub>2</sub> en el agua. El CO <sub>2</sub> penetra en el agua y genera H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> lo cual forma un ácido base. ....	11
Figura 6. Interacción del usuario con el proceso controlado. ....	12
Figura 7. Sistema de un PLC. ....	13
Figura 8. Características del hardware.....	14
Figura 9. Expansión de entradas y salidas del PLC MicroLogix 1100.....	15
Figura 10. Gráfica representativa de un sensor RTD. Comportamiento aproximadamente lineal .....	16
Figura 11. Conexión RTDs 2 hilos.....	16
Figura 12. Conexión RTDs 3 hilos.....	17
Figura 13. Conexión RTDs 4 hilos.....	17
Figura 14. Válvula solenoide. ....	18
Figura 15. Convertidor I/P .....	18
Figura 16. Sensor de presión .....	19
Figura 17. Parte de programa Ladder de PLC. ....	20
Figura 18. Circuito diseñado para la segunda fase de la automatización de la torre de absorción .....	21
Figura 19. Botonera y medidores de flujo de la segunda fase de automatización .....	22
Figura 20. Válvulas proporcionales segunda fase de automatización.....	22
Figura 21. Interfaz gráfica de la segunda fase de automatización .....	23

Figura 22. Diagrama P&ID actual de la torre de absorción. ....	23
Figura 23. Diagrama de propuesta P&ID para torre de absorción para tercera fase .....	24
Figura 24. Interfaz gráfica creada en WinCC para la tercera fase.....	24
Figura 25. Estado del panel de la torre de absorción .....	24
Figura 26. Estado de la torre de absorción.....	25
Figura 27. Torre de absorción estado final .....	31
Figura 28. Instalación de válvulas solenoides .....	31
Figura 29. Tablero de torre de absorción .....	32
Figura 30. Diagrama P&ID corregido .....	32
Figura 31. Interfaz gráfica de la torre de absorción .....	35
Figura 32. Gráfica de obtención de datos de sensor de temperatura tanque 2 .....	36
Figura 33. Gráfica de obtención de datos de sensor de temperatura tanque 1	36
Figura 34. Gráfica de obtención de datos de sensor de presión parte inferior .	37
Figura 35. Gráfica de obtención de datos de sensor de presión parte Superior .....	37
Figura 36. Válvula de llenado de tanque de agua .....	49
Figura 37. Sistema sin válvulas solenoides.....	49
Figura 38. Válvula proporcional.....	50
Figura 39. Colocación de válvulas solenoide .....	50
Figura 40. Colocación de válvulas con modificación de bomba .....	51
Figura 41. Tabla de módulos de entrada del PLC.....	51
Figura 42. Tabla de módulos de salidas del PLC .....	52

## Resumen

El trabajo tiene como objetivo realizar la actualización del diseño del control automático de la torre de absorción del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Dicha torre es la encargada de generar una mezcla gaseosa entre  $\text{CO}_2$  como soluto, unido al aire como gas inerte y agua, generando así  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . La generación de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  debe tomar en cuenta la temperatura de fluidos y la presión a la que se encuentran los extremos de la torre, debido que estos son críticos para que el proceso sea eficiente

La automatización de la torre de absorción facilitará el monitoreo de variables y control de procesos de la máquina utilizando sensores, actuadores y un controlador lógico programable. El sistema se implementará según a un diseño previo realizado como trabajo de graduación por otros estudiantes de ingeniería mecatrónica. Este diseño contiene la lista de componentes, así como la lista de entradas y salidas del sistema. El sistema también requerirá una interfaz gráfica para la visualización de variables críticas del sistema.

Los resultados obtenidos fueron exitosos, debido que se logró una automatización del proceso de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (Agua Carbonatada), para la producción manual o automática. La automatización permitió que el usuario, al momento de realizar el proceso, obtuviera una mayor eficiencia en la producción de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Se realizó un estudio en el cual se tomaron las variables críticas; tales como la temperatura, presión y flujo en la torre de absorción con el objetivo de mejorar el proceso actual.

En la colocación de los instrumentos de medición fue necesario realizar pequeñas modificaciones las cuales llevaba desde el cambio de tubería hasta el recableado del tablero. Para la colocación de las válvulas fue necesario comprar tubería especial debido que la tubería del sistema contiene, es de acero inoxidable. Esto conlleva que si se compra otro tipo de tubería esta podría causar algunos desperfectos en el sistema.

Los sensores de nivel y de temperatura fueron colocados en los tanques con el objetivo de obtener un mejor control sobre ellos, debido que estos son los más importantes en el proceso. Los sensores de presión son los encargados de estar monitoreando la torre, en esta se monitorea el nivel superior como al mismo tiempo el nivel inferior de la misma.



## I. Introducción

La automatización es un proceso industrial en el cual se integran elementos y dispositivos con los cuales se llega a tener control de un proceso a realizar. La automatización es importante para empresas las cuales realizan procesos y requieren que se realice en poco tiempo y de forma eficiente.

En la implementación de un diseño de automatización es necesario tener los conocimientos de instrumentación electrónica. Los instrumentos utilizados durante la automatización pueden ser transductores, sensores, actuadores y controladores. Teniendo todas estas herramientas disponibles y los conocimientos adecuados, se puede determinar qué tipo de dispositivos son necesarios para la automatización del proceso a realizar.

La torre de absorción del Laboratorio de Operaciones Unitarias ha pasado por diversas fases de automatización sin ser ninguna concluyente. Con ese propósito se realizará la actualización de los dispositivos colocados en la torre de absorción. Los dispositivos son necesarios para la automatización, como también la creación de una interfaz gráfica para un mejor control del proceso.

Los dispositivos pueden ser sensores o actuadores los cuales cambian el funcionamiento de la máquina. En la actualización de estos, los cuales fueron colocados, son desde sensores de presión, temperatura, nivel y presión; estos son los encargados de la lectura de los datos con el fin de obtener los mejores parámetros para la óptima creación de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , el cual es el objetivo principal del procedimiento.

La automatización de la torre de absorción del Laboratorio de Operaciones Unitarias es muy importante debido que es de vital importancia para la universidad que los estudiantes de ingeniería química puedan aprender la producción de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  de forma eficiente, es decir, que el usuario pueda tener el control absoluto del sistema de forma segura y eficaz reduciendo el tiempo estimado para la realización de la práctica.



## II. Objetivos

### A. Generales

1. Actualizar el sistema de automatización que controle el proceso de generación de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  en la torre de absorción del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Del Valle de Guatemala basando en un diseño previo

### B. Específicos

1. Implementar interfaz gráfica para controlar el proceso de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  y monitorear las variables críticas.
2. Validar el diseño previo de acuerdo con las especificaciones para la generación de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  en la torre de absorción situada en la Universidad del Valle de Guatemala.
3. Actualización de instrumentos para nivel de agua, presión y temperatura en el proceso de absorción.
4. Realizar un programa en el PLC para controlar el proceso de generación  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .



### III. Justificación

La automatización es una parte importante en el desempeño de máquinas industriales dando como resultado procesos más efectivos, reduciendo las pérdidas de tiempo y material.

La torre de absorción, situada en la Universidad del Valle de Guatemala, ha pasado por diversas etapas de automatización. Debido a los avances tecnológicos, los instrumentos utilizados quedan obsoletos. Para ello, se implementará un nuevo equipo y componentes que optimicen los procesos de la máquina.

El objetivo de este trabajo será actualizar el sistema de automatización del proceso de la torre de absorción e implementar una interfaz para que el usuario pueda observar los procesos y variables relacionadas a los mismos. Al concluir con la automatización de este sistema dará un mejor control de los procesos proveerá un ambiente de trabajo más seguro para el usuario y aumentará la producción y calidad de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Para la realización de este trabajo se dejará previsto dos modalidades de trabajo en las cuales el usuario será capaz de cambiar dependiendo de sus necesidades. Uno de los modos disponibles será el modo automático, este será el encargado de poder tener todos los datos y tomar decisiones por sí solo para la creación de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  sin tener algún inconveniente. El segundo modo será el modo manual, el cual será poder controlar toda la maquinaria desde el ordenador, esto quiere decir, se podrá controlar todos los actuadores; estos son la bomba de agua, enfriador y válvulas. Todo esto se podrá monitorear desde el ordenador que tendrá todos los estados posibles de cada uno de los actuadores y sensores que están monitoreando la torre de absorción



## IV. Marco teórico

### A. Absorción de gases

La absorción de gases es una operación en la cual un gas y un líquido entran en contacto con el fin de disolver algunos componentes del gas en el líquido y así obtener una solución (Treybal, 1988). Dicha operación se basa en el principio de transferencia de masa de un gas a un líquido. La transferencia de masa requiere la presencia de dos regiones con composiciones químicas diferentes en la cual se da el movimiento de partículas de una región de mayor concentración a otra de menor concentración. (Cengel, 1997)

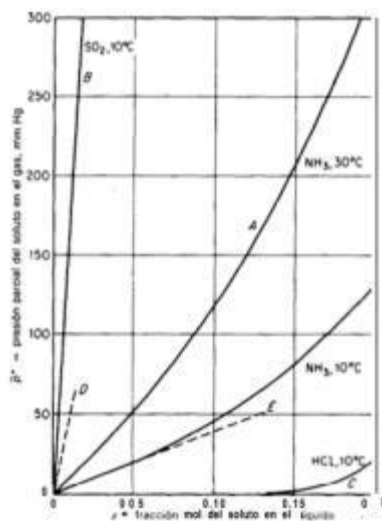
El proceso se hace de forma circular de gas-líquido contra corriente llevándose a cabo en la torre de absorción. Para llegar al objetivo se debe procurar que el contacto entre ambos elementos sea el mayor posible.

#### Solubilidad de los gases en líquidos

La solubilidad es la capacidad que tiene un componente de disolverse en un líquido. La solubilidad de los gases depende de la temperatura. Según la ley de van't Hoff, si se incrementa la temperatura de un sistema en equilibrio, se absorberá calor, por lo que al aumentar la temperatura disminuye la solubilidad de un gas con un líquido.

A continuación, se presenta una gráfica que muestra solubilidades de los gases en agua.

Figura 1. Solubilidad de los gases en agua

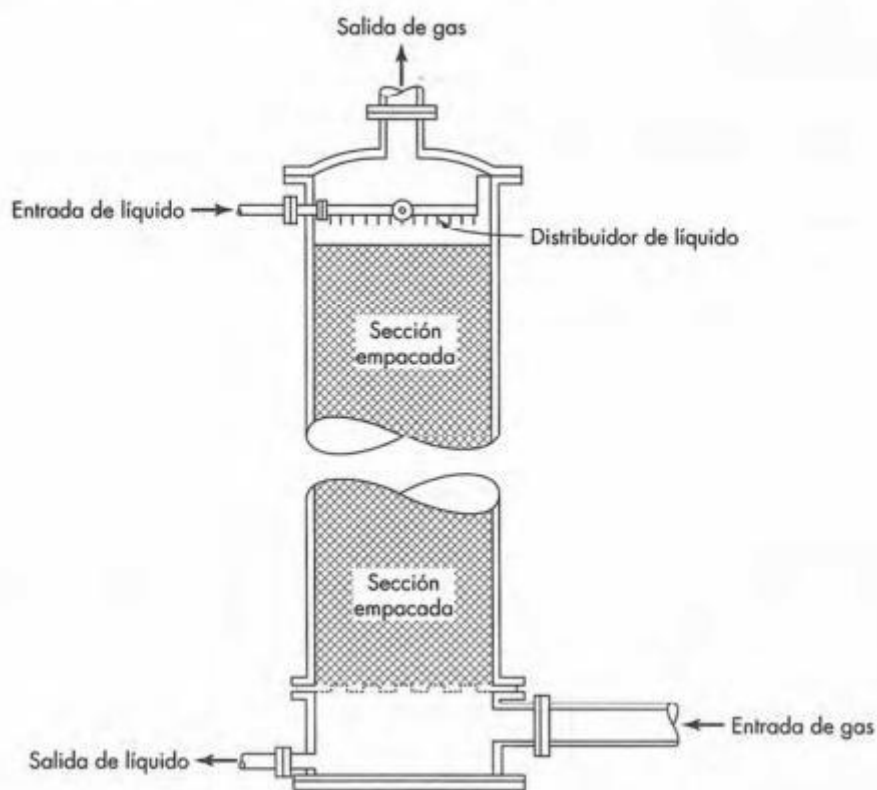


(Treybal, 1988)

## Torres empacadas

Un ejemplo de una torre empacada se puede observar en la Figura 2, las cuales son las más comunes para la absorción de gases.

Figura 2. Torre empacada



(McCabe, 2007)

La torre empacada se utiliza en la actualidad para el contacto entre un líquido y el gas de interés, ya sea, en flujo a contracorriente o en corriente paralela. El sistema consta de una torre la cual posee una columna vertical rellena de empaques, este tipo de arreglos permite poseer grandes superficies de contacto entre los dos fluidos. El líquido baja por la columna generando un gradiente de transferencia de masa (Treybal, 1988).

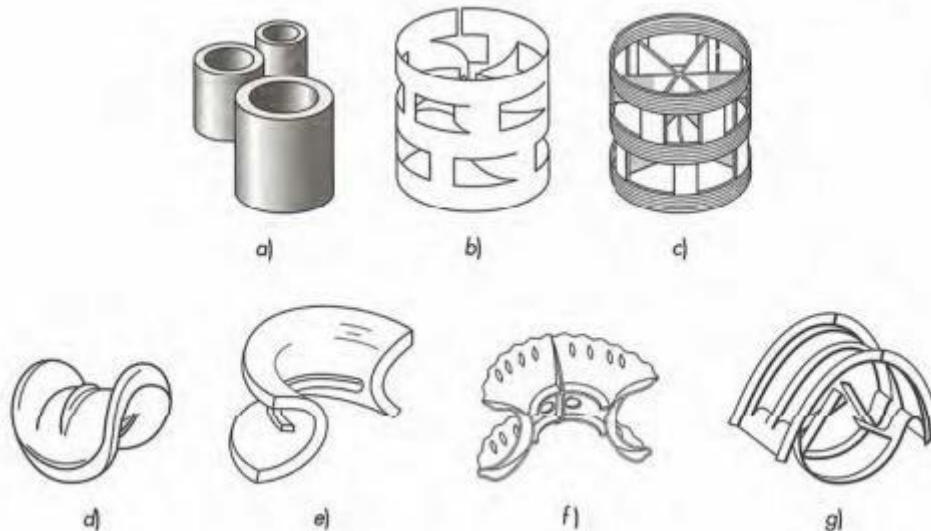
En la industria, las torres empacadas se utilizan frecuentemente con el fin de destilar líquidos o para la absorción de gases de interés. Anteriormente, antes de existir variedad de materiales, se utilizaban anillos cerámicos de aproximadamente 1 pulgada de diámetro externo. Actualmente existen

diversidad de empaques los cuales se seleccionan y se emplean tomando en cuenta las características del proceso.

En este tipo de sistemas se debe tener en cuenta los factores principales, los cuales son: área abierta y área superficial mojada. En lo que corresponde a la destilación, el equipo más utilizado son las columnas de platos, pero si se utiliza torres empacadas se puede proporcionar la misma eficiencia para generar la operación unitaria.

Existen torres de una sola etapa obteniendo cierta eficiencia, pero si se desea aumentar esta se debe agregar una mayor cantidad de etapas o fraccionando la torre poniendo en contacto más gas con líquido y a diferentes concentraciones (Treybal, 1988).

Figura 3. Empaques comunes en torres. a) anillos Rashing; b) anillo metálico Pall; c) anillo plástico pall; d) montura Berl; e) montura de cerámica Intalox; f) montura plástica Súper Intalox; g) montura metálica Intalox.



(Treybal, 1988)

El tamaño y material del empaque se debe seleccionar dependiendo de las condiciones en las que se trabajara la torre, tomando en cuenta el costo, la caída de presión y los materiales con los que se trabajaran. Se deben de tomar en cuenta las siguientes características:

- Proporcionar superficie interfacial grande entre el líquido y el gas.

- Químicamente inerte.
- Estructuralmente fuerte.
- Bajo costo.

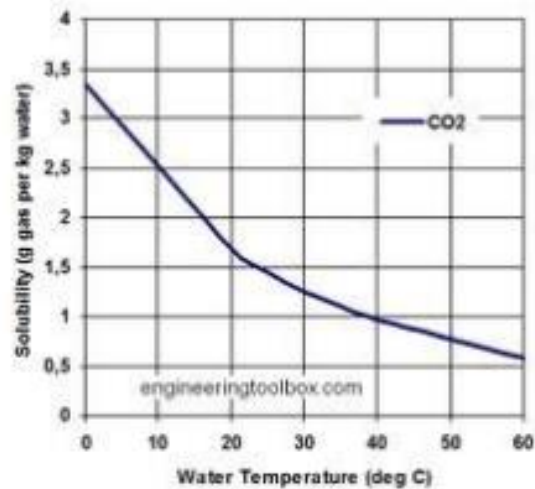
Figura 4. Características de empaques para torres.

Tipo	Material	Tamaño, nominal, in.	Densidad global, <sup>1</sup> lb/ft <sup>3</sup>	Área total, <sup>1</sup> ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup>	Porosidad $\epsilon$	Factores de empaque <sup>1</sup>	
						$F_p$	$J_p$
Anillos Raschig	Cerámica	$\frac{1}{2}$	55	112	0.64	580	1.52§
		$\frac{1\frac{1}{2}}$	42	58	0.74	155	1.36§
		$1\frac{1}{2}$	43	37	0.73	95	1.0
Anillos Pall	Metal	2	41	28	0.74	65	0.92§
		1	30	63	0.94	56	1.54
		$\frac{1\frac{1}{2}}$	24	39	0.95	40	1.36
	Plástico	2	22	31	0.96	27	1.09
		1	5.5	63	0.90	55	1.36
Monturas Berl	Cerámica	$\frac{1\frac{1}{2}}$	4.8	39	0.91	40	1.18
		$\frac{1}{2}$	54	142	0.62	240	1.58§
		1	45	76	0.68	110	1.36§
Monturas Intalox	Cerámica	$\frac{1\frac{1}{2}}$	40	46	0.71	65	1.07§
		$\frac{1}{2}$	46	190	0.71	200	2.27
		1	42	78	0.73	92	1.54
		$\frac{1\frac{1}{2}}$	39	59	0.76	52	1.18
		2	38	36	0.76	40	1.0
Monturas Super Intalox	Cerámica	3	36	28	0.79	22	0.64
		1	—	—	—	60	1.54
		2	—	—	—	30	1.0
IMIP	Metal	1	—	—	0.97	41	1.74
		$\frac{1\frac{1}{2}}$	—	—	0.98	24	1.37
		2	—	—	0.98	18	1.19
Hy-Pak	Metal	1	19	54	0.96	45	1.54
		$\frac{1\frac{1}{2}}$	—	—	—	29	1.36
		2	14	29	0.97	26	1.09

(McCabe, 2007)

El agua carbonatada es uno de los procesos más comunes realizados en el proceso de absorción de gases. Es un proceso en el cual se disuelve dióxido de carbono en agua. Para poder trabajar el dióxido de carbono se necesita trabajar a baja presión para que libere la disolución como pequeñas burbujas que son causantes de la efervescencia. Para que el dióxido de carbono tenga una mejor solubilidad en el agua, esta se debe enfriar a 3 C.

Figura 5. Solubilidad del  $\text{CO}_2$  en el agua. El  $\text{CO}_2$  penetra en el agua y genera  $\text{H}_2\text{CO}_3$  lo cual forma un ácido base.



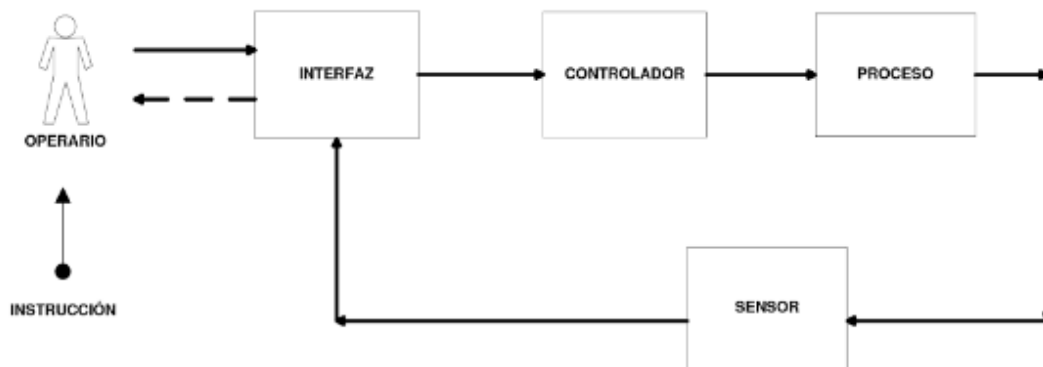
(McCabe, 2007)

## B. Automatización industrial

Se le define al conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución de un operario en un trabajo físico y mental (Ponsa, 2007). Se caracteriza por la utilización de elementos o sistemas computarizados y electromecánicos que controlan máquinas o procesos industriales. La automatización abarca la instrumentación industrial que incluye sensores, transmisores de campo, sistemas de control y supervisión. Tiene como fin la recolección de datos y aplicaciones de software en tiempo real. Tiene como objetivo llevar a cabo las tareas de un proceso a partir de entradas que modifican valores o brindan información que caracterizaran a la salida, que es el producto.

Un sistema de control manipula valores para obtener un funcionamiento deseado. Este logra controlar un sistema sin que un operador intervenga directamente, es decir, no se manipula la máquina manualmente. El operador puede observar el proceso mediante los sensores que obtienen la información desplegándola en la interfaz gráfica.

Figura 6. Interacción del usuario con el proceso controlado.



(Ponsa, 2007)

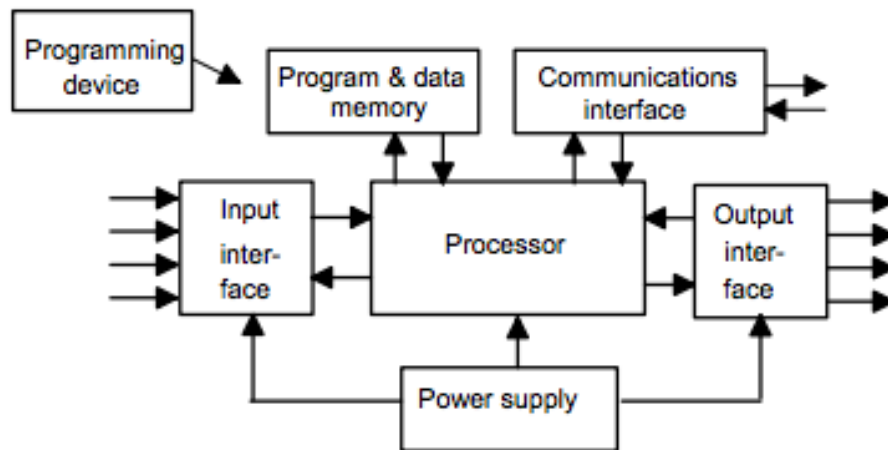
### C. PLC (CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE)

Un controlador lógico programable (PLC) es un sistema electrónico programable diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario. Es capaz de implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencia, temporización, recuento y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas (digitales y/o analógicas) diversos tipos de máquinas y/o procesos (Torres y Jara, 2011).

Es el encargado del control de una máquina o de un proceso industrial. Contiene un procesador, memoria puertos de comunicación, etc. El PLC contiene múltiples canales (entradas y salidas) para realizar el control de un proceso. (Dahl-Skog, 2012)

Los canales de entrada miden distintas señales provenientes de sensores instalados en el proceso. Los canales de salidas son los encargados de enviar señales a los actuadores para que estos puedan manipular las máquinas u otros objetos.

Figura 7. Sistema de un PLC.



(Bolton, 2006)

El PLC es un microprocesador utilizado en la industria para contralar mediante instrucciones y funciones, las cuales se almacenan en memoria interna del mismo. Las funciones que este puede realizar son secuenciales, de tiempo, contadores y operaciones aritméticas. Las instrucciones dentro de la memoria son realizadas por un operador el cual es el encargado de hacer el programa para el funcionamiento de la máquina que el PLC fuese a controlar.

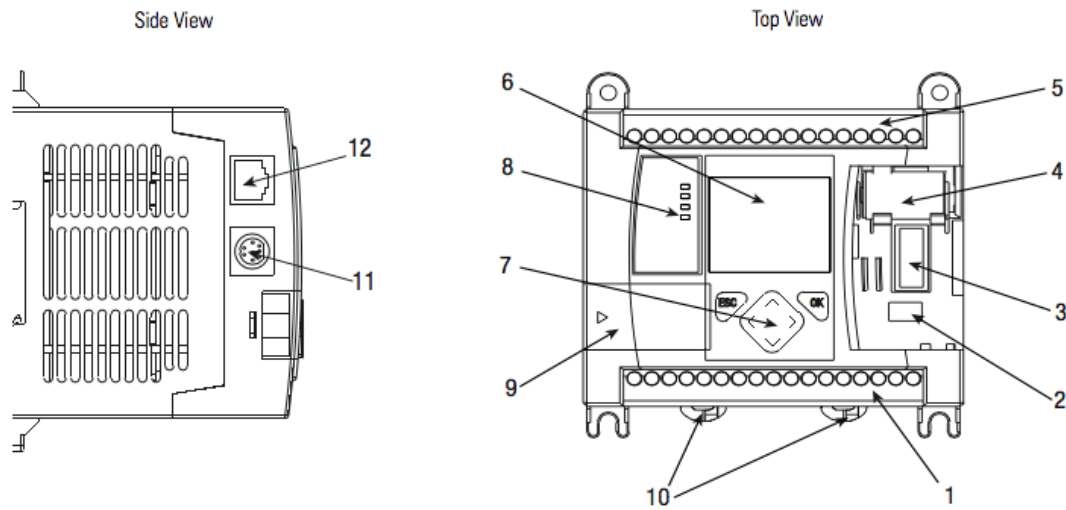
#### A. MICROLOGIX 1100

El controlador lógico programable MicroLogix1100 1763-L16AWA posee un procesador de comunicaciones Ethernet/IP incorporado, edición en línea, panel LCD que muestra el estado del controlador. Contiene canales de entradas y salidas incorporadas, también se pueden incorporar módulos E/S para un mejor desempeño.

#### Hardware

El PLC Micrologix 1100 contiene una fuente de poder, circuitos de entradas y salidas, un procesador, combinación de puertos de comunicación RS232/485 y un puerto de Ethernet. Dicho controlador contiene 18 canales de entradas y salidas (10 entradas digitales, 2 entradas analógicas y 6 salidas digitales). Trabaja con voltajes de 120/240 VAC. A continuación de muestra el hardware del controlador (Obtenida de hoja técnica: MicroLogix 1100 Programmable Controller).

Figura 8. Características del hardware



(Obtenida de hoja técnica: MicroLogix 1100 Programmable Controller).

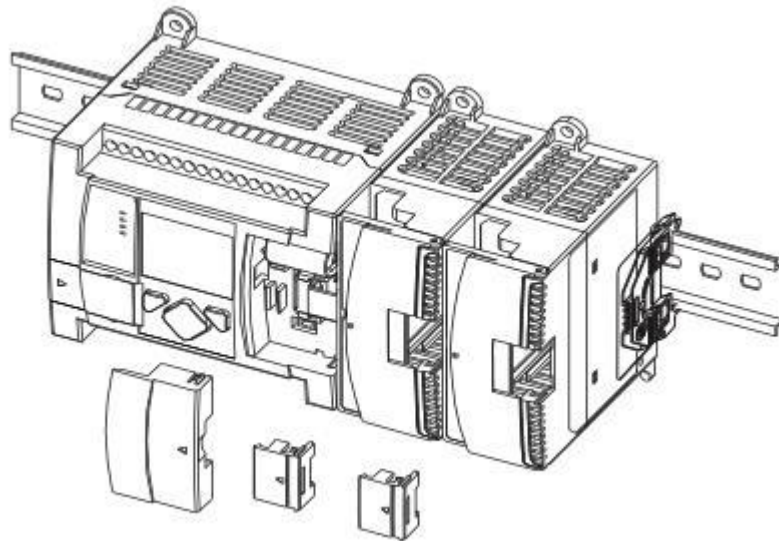
Donde:

1. Bloque de salidas.
2. Conector de batería.
3. Bus para expansión de I/O.
4. Batería
5. Bloque de entradas.
6. LCD.
7. LCD Keypad (ESC, OK, Up, Down, Left, Right).
8. LED indicador.
9. Módulo de memoria.
10. Asegurador de riel.
11. Puerto de comunicación RS-232/485 (Canal 0).
12. Puerto Ethernet (Canal1).

## Expansión de entradas y salidas

El controlador MicroLogix 1100 es capaz de expandirse por medio de módulos de entrada y salida. (Obtenida de hoja técnica: MicroLogix 1100 Programmable Controller.)

Figura 9. Expansión de entradas y salidas del PLC MicroLogix 1100



(Obtenida de hoja técnica: MicroLogix 1100 Programmable Controller).

### E. Componentes electrónicos

#### a. Sensor de temperatura

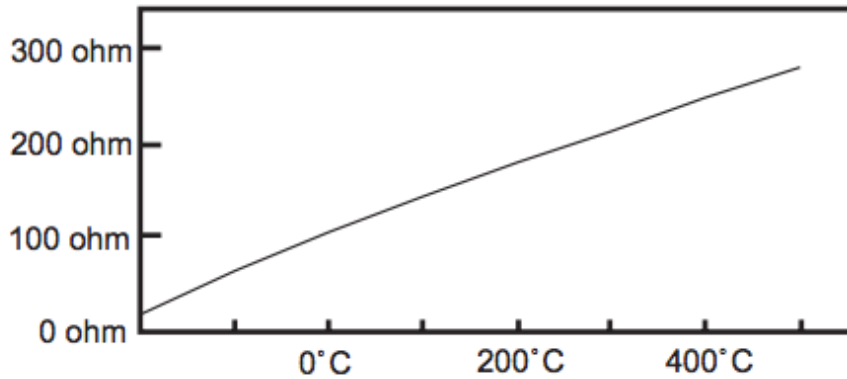
Existen diversos tipos de sensores capaces de medir la temperatura de una sustancia. Entre los sensores de temperatura usados en la industria se encuentran las RTDs.

Los sensores de RTDs son capaces de transformar una variación de temperatura en una variación de resistencia eléctrica.

Los RTD son sensores de temperatura resistivos, en ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que ante un aumento de temperatura exista un aumento de la resistencia eléctrica que presentan. Este efecto responde al cambio de resistencia eléctrica para originar una señal analógica de 4-20 mA la cual es la que se utiliza para el control automático.

La resistencia de los metales se encuentra en función de la temperatura. La dependencia entre estos dos factores es aproximadamente lineal.

Figura 10. Gráfica representativa de un sensor RTD. Comportamiento aproximadamente lineal



(Sánchez, 2006).

Los sensores para instrumentación más utilizados son los de platino debido que es un material más estable y exacto. Existen termo resistores de diversos materiales los cuales muestran una mayor linealidad entre la temperatura y la resistencia, muestran desventajas como el rango de medición bajo debido a la baja resistividad del material (Sánchez, 2006).

Los termo resistores industriales son elementos encapsulados dentro de un tubo de acero y otro material, en una parte la parte eléctrica y en el otro extremo se encuentra el elemento sensible de platino.

Existen tres formas de conexión de los termo resistores.

- i. Con 2 hilos: Conexión más sencilla menos recomendable debido que con esta configuración se produce mayor error

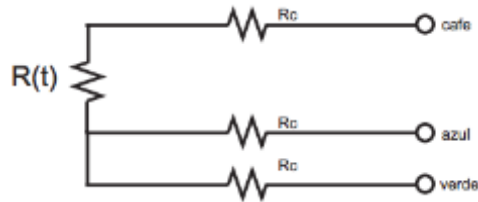
Figura 11. Conexión RTDs 2 hilos



(Sánchez, 2006).

- ii. Con 3 hilos: Conexión más común y por tener 3 hilos elimina gran cantidad de error

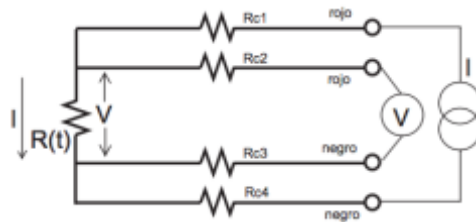
Figura 12. Conexión RTDs 3 hilos.



(Sánchez, 2006).

- iii. Con 4 hilos: Es la que tiene mayor precisión

Figura 13. Conexión RTDs 4 hilos.

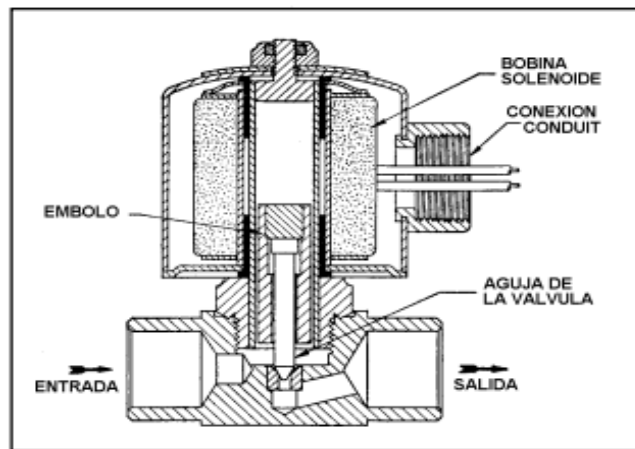


(Sánchez, 2006).

## b. Válvulas solenoides

Una válvula solenoide es un dispositivo operado eléctricamente. Funciona como una válvula de paso manual, pero accionada de forma eléctrica, teniendo dos posiciones; completamente abierta o cerrada. Es utilizada para controlar flujo de fluidos líquidos o gases. Su funcionamiento se basa en energizar una bobina para abrir completamente la válvula y para cerrarla se des energiza (Medina y Guadayol, 2010).

Figura 14. Válvula solenoide.



(Medina y Guadayol, 2010).

#### D. Convertidor I/P

Dispositivo que recibe una señal de corriente eléctrica de entrada y produce una salida neumática proporcional. Generalmente se da una conversión de 4-20mA a 3-16 PSI. La aplicación común de dicho instrumento es el posicionar operar una válvula de control de flujo de agua o de aire (Manual de instrucciones ABB, 2012).

Figura 15. Convertidor I/P



(Imagen obtenida en: <https://www.marshbellofram.com/bellofram-pcd/products/type-1000-ip-and-ep-transducers/>)

## E. Sensor de presión

Los sensores de presión o transductores de presión son muy habituales en cualquier proceso industrial. Su objetivo es transformar una magnitud física en una eléctrica, en este caso transforman una fuerza por unidad de superficie en un voltaje equivalente a esa presión ejercida (Sánchez, 2006).

Figura 16. Sensor de presión



(Imagen obtenida en: [http://www.sensores-de-medida.es/sensing\\_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES\\_35/Sensores-de-presi%C3%B3n\\_107/](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-presi%C3%B3n_107/))

## F. Programación de PLC

Un programa de un PLC es un conjunto de instrucciones que producirán la ejecución de una tarea. Un programa es una respuesta predeterminada a todas las posibles combinaciones de estados (Dahl-Skog, 2012).

La programación de un PLC requiere:

1. Analizar el problema.
2. Definir la arquitectura del Hardware. (Entradas, salidas, etc.)
3. Programación del código dependiendo del PLC a utilizar.
4. Depuración y verificación del funcionamiento del programa.

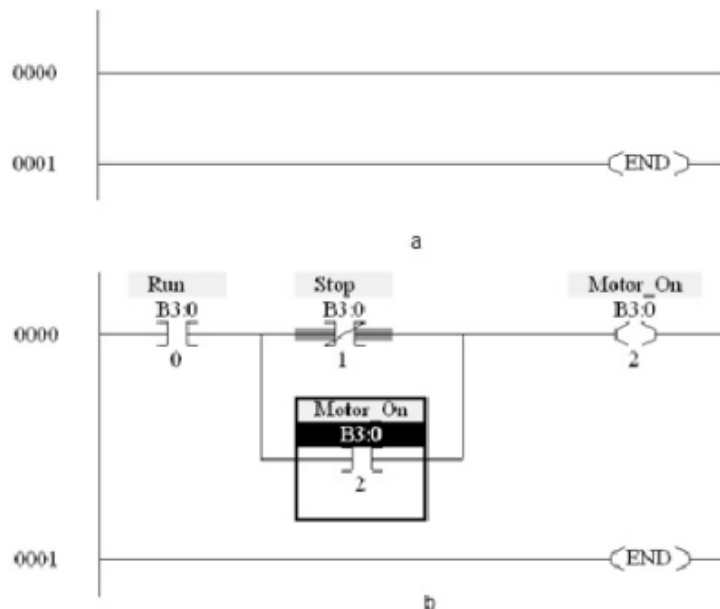
Para la programación de un PLC se requiere una computadora en la cual debe tener el software necesario para la programación de este. Dicho programa realizará el proceso para un determinado procedimiento, el cual lo hará de forma automática. Una vez el programa ha sido diseñado este se transfiere al PLC, el cual se almacena en la memoria de este.

EL PLC de Allen Bradley de serie Micro Logix 1100 se requiere el programa RSLogix para la configuración y programación.

### RSLogix

Es un paquete de programación lógica de escalera la cual ayuda al ahorro de tiempo y la optimización del desarrollo del proyecto. Fue diseñada para operar en el sistema operativo Microsoft Windows. Este programa utiliza el lenguaje Ladder, el cual permite hacer un programa de automatización para el controlador Micro Logix 1100

Figura 17. Parte de programa Ladder de PLC.



### FactoryTalk View

FactoryTalk View es un software para desarrollar y simular una interfaz que conecte la relación humano- maquina. Fue diseñado para monitorear y controlar un proceso automático de máquinas. Este software funciona en sistemas operativos como Microsoft Windows 7, 8, 8.1, 10, Windows Server 2008 y Windows Server 2012.

## V. Antecedentes

La primera fase de automatización de la Torre de Absorción del Laboratorio de Operaciones Unitarias se realizó en el año 2003. El proyecto tenía como objetivo la automatización del control de caída de presión de la torre al fijar el flujo de gas. Para la realizar el control automático se diseñó un circuito utilizando un microcontrolador PIC 16F877. En esta fase se instalaron válvulas proporcionales. Se diseñó una interfaz gráfica con la cual el operador era capaz de monitorear el proceso.

En el año 2008 se realizó la segunda fase de automatización de la Torre de Absorción. El proyecto tenía como objetivo mejorar la calidad de las herramientas educativas del Laboratorio de Operaciones Unitarias de La Universidad del Valle de Guatemala. Para realizar esta fase se utilizó el PIC 18F2525. Este microcontrolador está diseñado específicamente para el proceso de señales analógicas. En esta fase se instalaron sensores de presión, temperatura y humedad. Para poder tener un control de los dispositivos instalados al igual que la primera fase, se realizó un programa en el cual se controlaban los fluidos de la torre.

Figura 18. Circuito diseñado para la segunda fase de la automatización de la torre de absorción

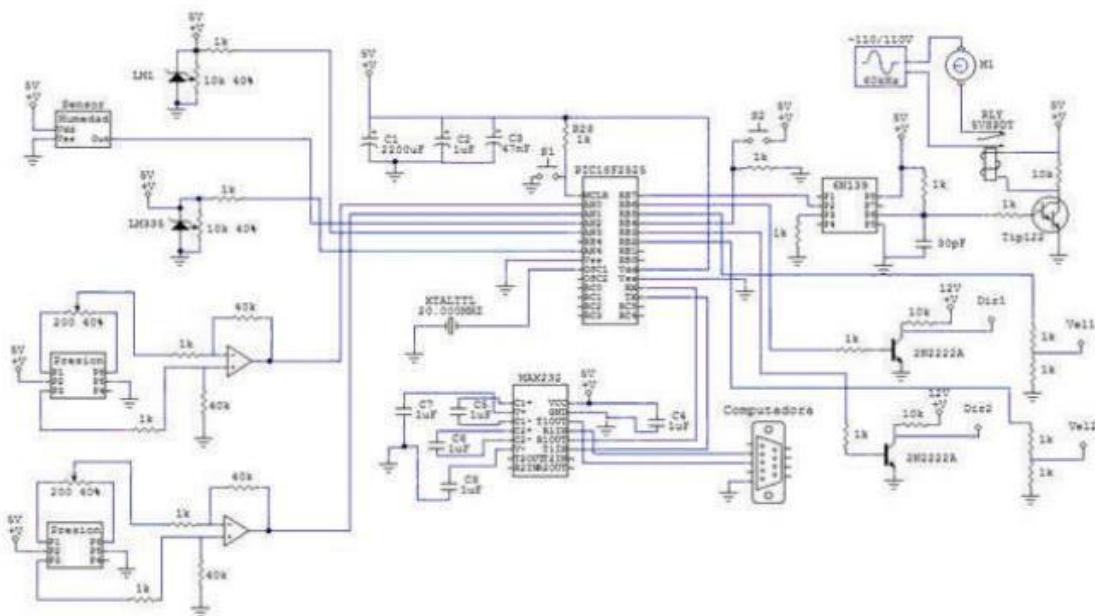


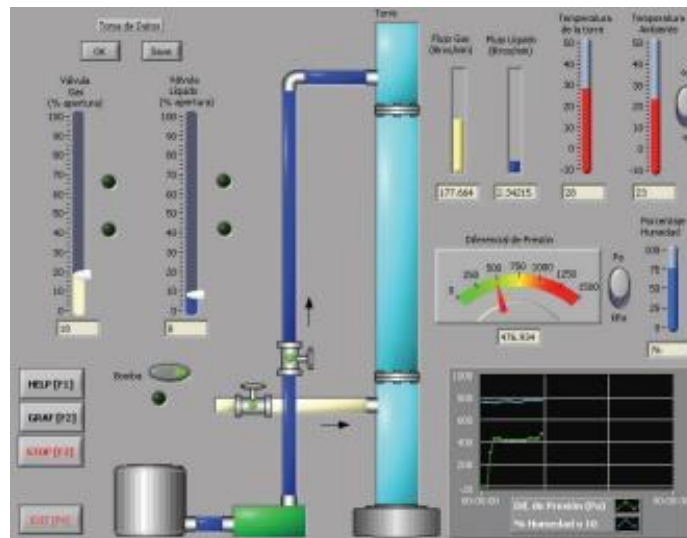
Figura 19. Botonera y medidores de flujo de la segunda fase de automatización



Figura 20. Válvulas proporcionales segunda fase de automatización.

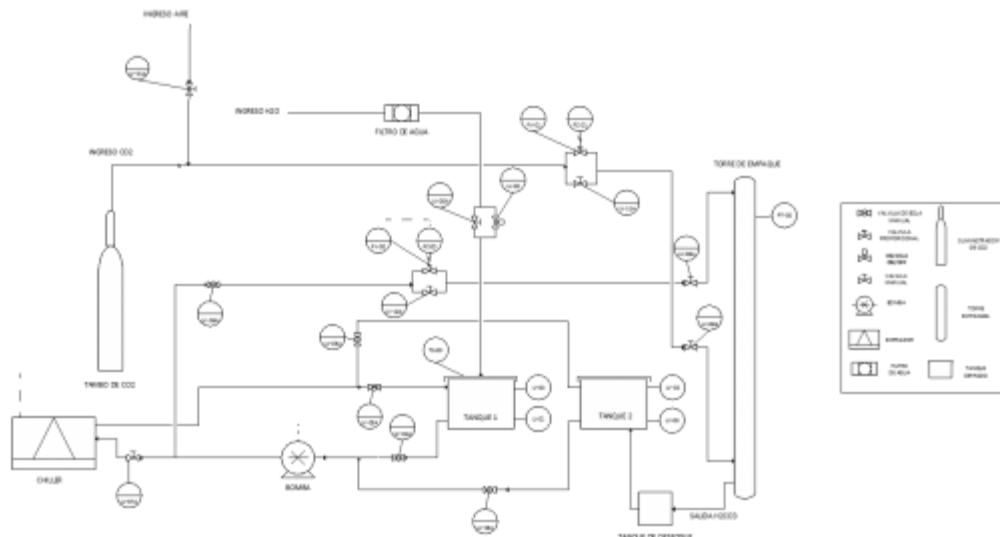


Figura 21. Interfaz gráfica de la segunda fase de automatización



Luego de haber terminado la segunda fase se propuso un nuevo proyecto en el cual consistía en hacer mejoras de la primera y segunda fase de automatización. En el proyecto se instaló un PLC, como también se cambiaron las válvulas proporcionales y se añadió un enfriador para que el proceso de la creación de agua carbonatada fuera más eficiente.

Figura 22. Diagrama P&ID actual de la torre de absorción.



En el año 2017 se empezó con la tercera fase con el objetivo de tener un Control Automático de la Torre de Absorción del Laboratorio de Operaciones Unitarias de La Universidad Del Valle De Guatemala. En el cual por problemas internos no se lograron obtener todos los materiales a tiempo para la

implementación. Debido al problema anteriormente, se trabajó el diseño y una simulación con la cual se usó el programa Step 7 el cual es software para PLC de la marca Siemens. Se realizó una interfaz gráfica con el programa WinCC.

Figura 23. Diagrama de propuesta P&ID para torre de absorción para tercera fase

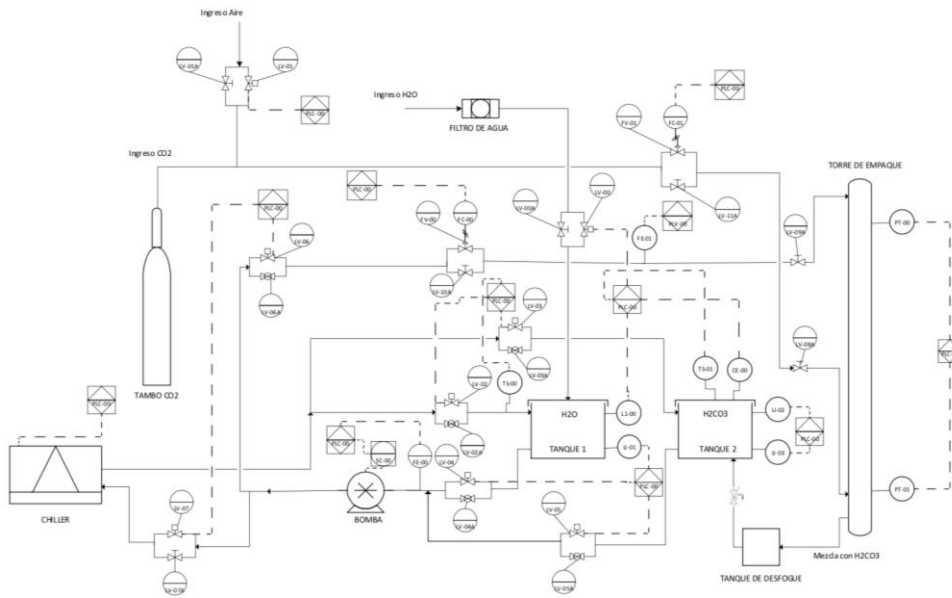


Figura 24. Interfaz gráfica creada en WinCC para la tercera fase

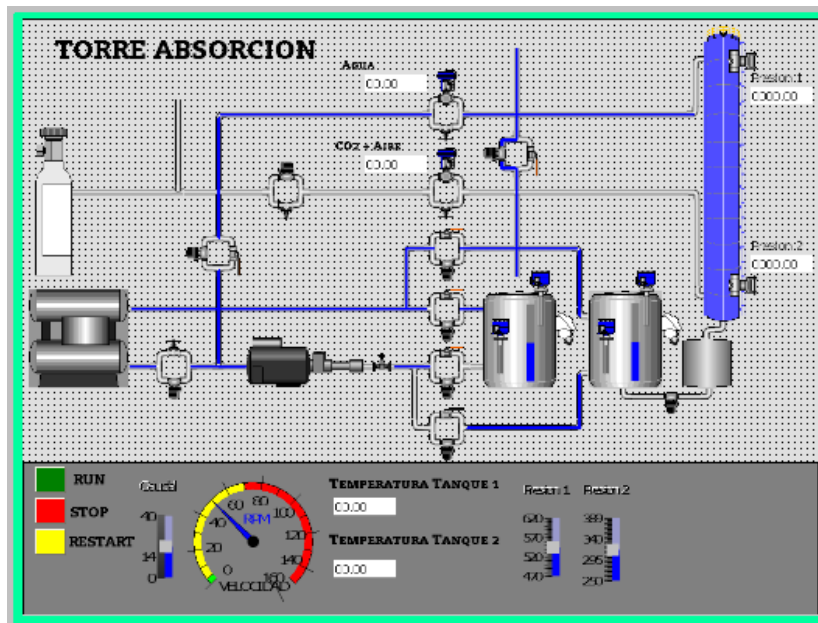


Figura 25. Estado del panel de la torre de absorción

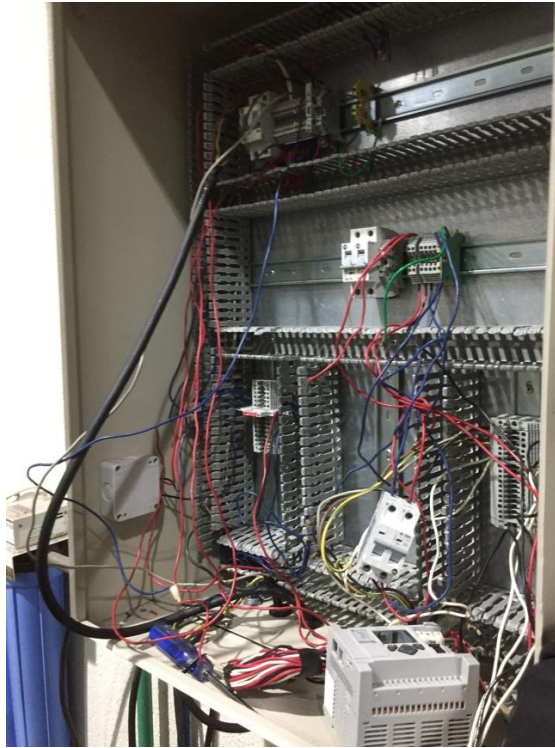


Figura 26. Estado de la torre de absorción





## VI. Metodología

Para poder realizar dicho trabajo se necesitó tener un cronograma con el objetivo de tener una buena organización en donde se pudiera llevar un orden y una estimación de tiempos.

Cuadro 3. Cronograma de actividades

<b>Semana (s)</b>	<b>Mes</b>	<b>Actividad</b>
15 al 21	Enero	Investigación sobre el proceso químico de absorción de gases
22 al 28	Enero	Revisión de equipo y listado de material
29 al 4	Enero y Febrero	Montaje de instrumentación electrónica
5 al 18	Febrero	Programación y funcionamiento en conjunto con equipo de instrumentación
19 al 11	Febrero y Marzo	Programación de interfaz gráfica e implementación con PLC
12 al 25	Marzo	Elaboración de pruebas y corrección de errores
25 al 1	Marzo y Abril	Entrega final

Durante este tiempo se realizaron todas las modificaciones las cuales fueron necesarias para la automatización de la torre de absorción.

El trabajo se realizó durante 6 meses, con el objetivo de terminar el trabajo completo obteniendo un mejor rendimiento. El tiempo que se realizó este trabajo se tuvo que dividir en las tareas que a continuación se enlistaran:

## A. Familiarización del proceso

Mediante la investigación se buscó familiarizarse con el proceso químico de absorción de gases, para poder determinar si el proceso de automatización era el correcto. En esta etapa se buscó investigar por medio de personas capacitadas y de reportes escritos acerca del proceso del uso de la torre de absorción. Se recibió una capacitación para el correcto uso de la torre de absorción en la cual se explica cada una de las funciones principales como también cuales son las variables críticas del sistema.

## B. Determinar funcionamiento de equipo

Para determinar que todo el equipo funciona de forma correcta es necesario realizar pruebas con cada uno de los equipos. Las pruebas fueron necesarias para la correcta calibración de los sensores (temperatura, presión y nivel de agua) como también el óptimo funcionamiento de las válvulas debido que se necesita probar el equipo antes de ser colocado en la torre de absorción.

Para la calibración de los sensores de temperatura fue necesario la utilización de un termómetro de mercurio. Este se utilizó para poder determinar si la lectura de la RTD era la correcta. Para realizar la calibración del sensor de presión, fue necesario inyectar una presión en la tubería mediante un manómetro indicando si la lectura era la correcta.

Esto asegura el buen funcionamiento y la ausencia de irregularidades. Una vez probado el equipo se procedió a montar los sensores en los tanques y tuberías los cuales son necesarios para la creación de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (Agua Carbonatada).

## C. Programación de PLC

Se implementó un controlador lógico programable con el objetivo de utilizarlo en el programa RsLogix 500 para la actualización de la torre de absorción; este fue necesario para la utilización de la herramienta Ladder. El programa, anteriormente mencionado, es utilizado para crear la lógica utilizada con el objetivo de monitorear las variables, las cuales cambian por la lectura de los sensores, y la activación de las válvulas. Los sensores utilizados en el sistema tienen el trabajo de monitorear la temperatura, presión y el nivel del agua en la torre de absorción.

Se necesitó hacer un listado de las entradas y salidas del sistema. Esto es necesario para poder tener una mejor estructura del programa que se desea crear.

Para la programación del PLC se necesitó aprender el correcto funcionamiento de la torre de absorción como también cada uno de los pasos críticos para la creación de agua carbonatada. Uno de los pasos importantes es que el enfriador (Chiller) no puede ser encendido sin que la bomba de agua no sea prendida con anterioridad debido que este puede causar que el enfriador se arruine.

#### D. Diseño de interfaz gráfica

Se programó una interfaz gráfica para el control y visualización del proceso. El programa proporcionará un entorno visual sencillo al usuario por medio de gráficos que representan la posición de cada instrumento y componente utilizado en el proceso de absorción.

La herramienta a utilizada para la creación de la interfaz gráfica fue FactoryTalk View. En esta herramienta se encuentran todos componentes necesarios para poder crear la interfaz de una forma amigable con el usuario. Para la comunicación del PLC con cada uno de los componentes en la interfaz es necesario crear etiquetas en las variables del PLC. Estas son necesarias debido que el programa necesita vincular cada uno de los objetos con la variable respectiva.



## VII. Resultados

Figura 27. Torre de absorción estado final



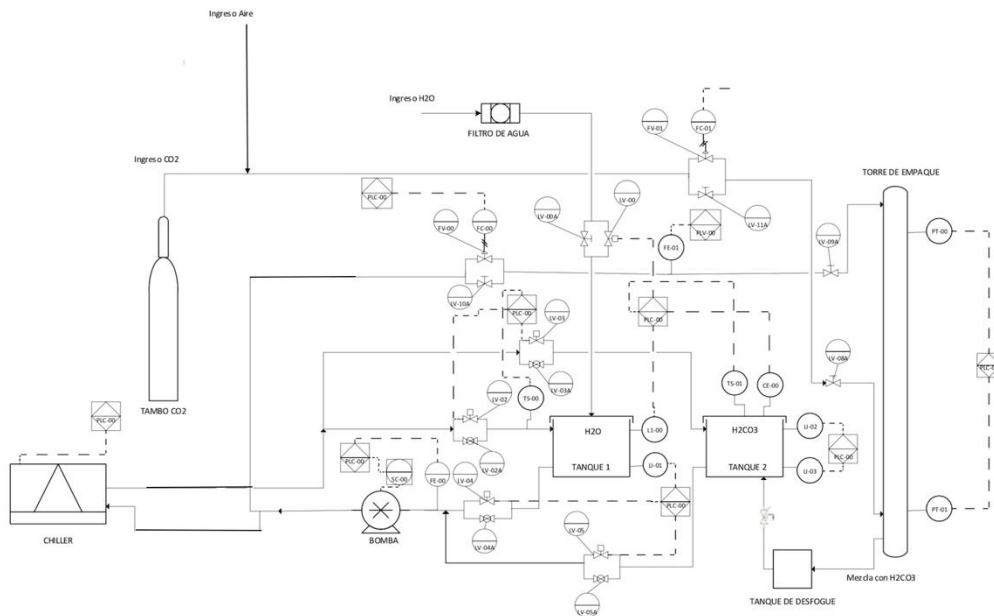
Figura 28. Instalación de válvulas solenoides



Figura 29. Tablero de torre de absorción



Figura 30. Diagrama P&ID corregido



Cuadro 1. Lista de salidas del sistema

E/S	Equipo	Descripción	Dirección PLC	tipo	Voltaje(V)
S	Válvula	Válvula de salida de tanque principal	O:1.8	Solenoide	24
S	Válvula	Válvula de entrada de tanque principal	O:1.9	Solenoide	24
S	Válvula	Válvula de salida de tanque secundario	O:1.10	Solenoide	24
S	Válvula	Válvula de entrada de tanque secundario	O:1.11	Solenoide	24
S	Válvula	Válvula de entrada de agua potable a tanque principal	O:1.2	Solenoide	24
S	Válvula	Válvula de regulación de agua hacia la torre	-	Proporcional	-
S	Válvula	Válvula de regulación de gas hacia la torre	-	Proporcional	-
S	Bomba	Bomba de agua que hace circular el agua dentro del sistema	O:1.1	Bomba de agua	240
S	Enfriador	Es el encargado de enfriar el agua a 3 C	O:1.0	Enfriado por gas interno	220

Continuación del cuadro 1

S	Convertidor I/P	Convertidor de corriente de 20 mA a presión	O:3.3	Bomba de agua	-
S	Convertidor I/P	Convertidor de corriente de 20 mA a presión	O:2.0	Enfriado por gas interno	-

Cuadro 2. Lista de entradas del sistema

E/S	Equipo	Descripción	Dirección en PLC	Tipo	Tipo de entrada
E	Sensor	Se encarga de cerrar un switch al tener el nivel indicado	I:0.1	Nivel	Digital
E	Sensor	Se encarga de cerrar un switch al tener el nivel indicado	I:0.2	Nivel	Digital
E	Sensor	Convierte la presión en una señal de voltaje	I:4.0	Presión	Analógica
E	Sensor	Convierte la presión en una señal de voltaje	I:4.1	Presión	Analógica
E	Sensor	Tiene una resistencia que cambia su valor por medio de su temperatura	I:2.0	temperatura	Analógica

Continuación de Cuadro 2

E	Sensor	Tiene una resistencia que cambia su valor por medio de su temperatura	I:2.1	Temperatura	Analógica
E	Sensor	Se encarga de cerrar un switch al tener el nivel indicado	I:0.3	Nivel	Digital
E	Sensor	Se encarga de cerrar un switch al tener el nivel indicado	I:0.4	Nivel	Digital

Figura 31. Interfaz gráfica de la torre de absorción

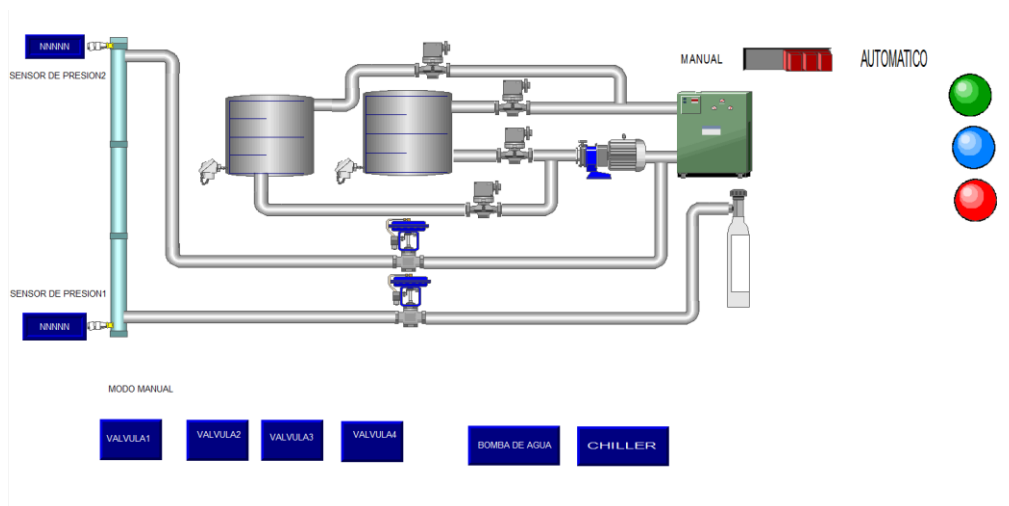


Figura 32. Gráfica de obtención de datos de sensor de temperatura tanque 2

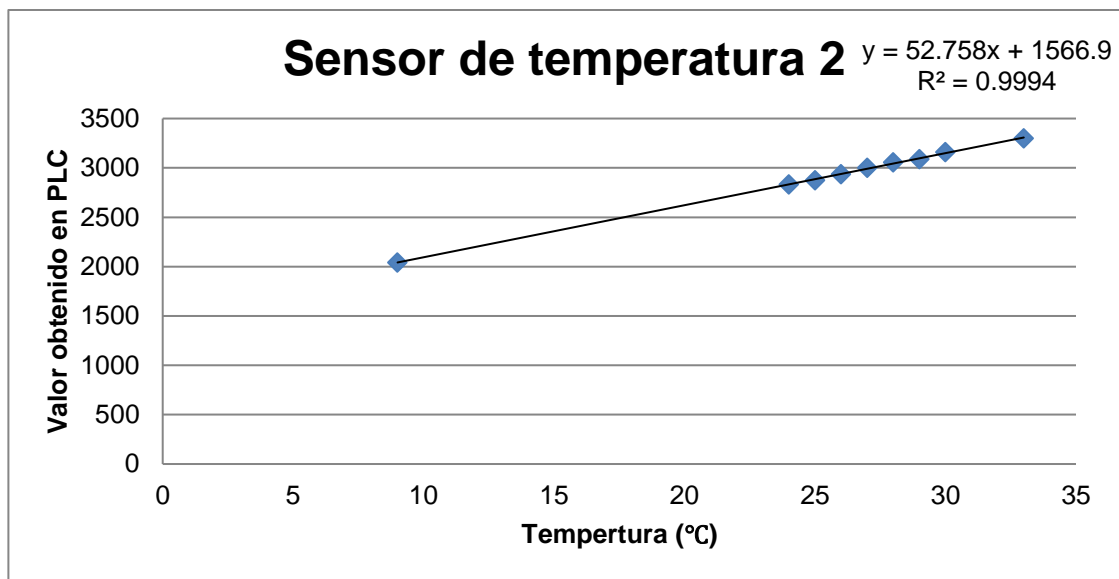


Figura 33. Gráfica de obtención de datos de sensor de temperatura tanque 1

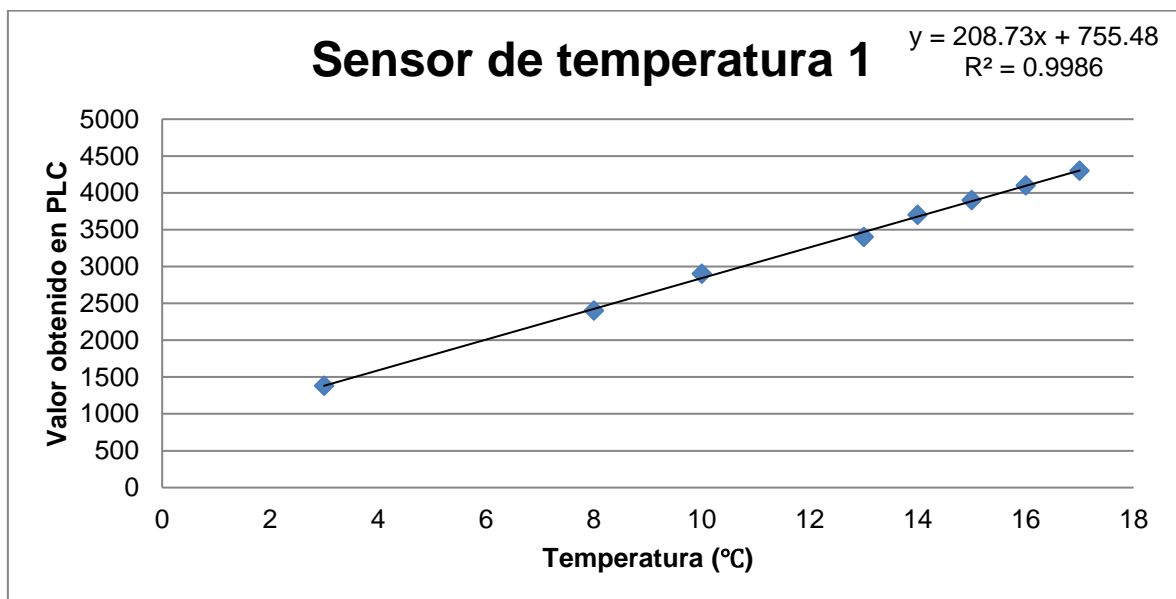


Figura 34. Gráfica de obtención de datos de sensor de presión parte inferior

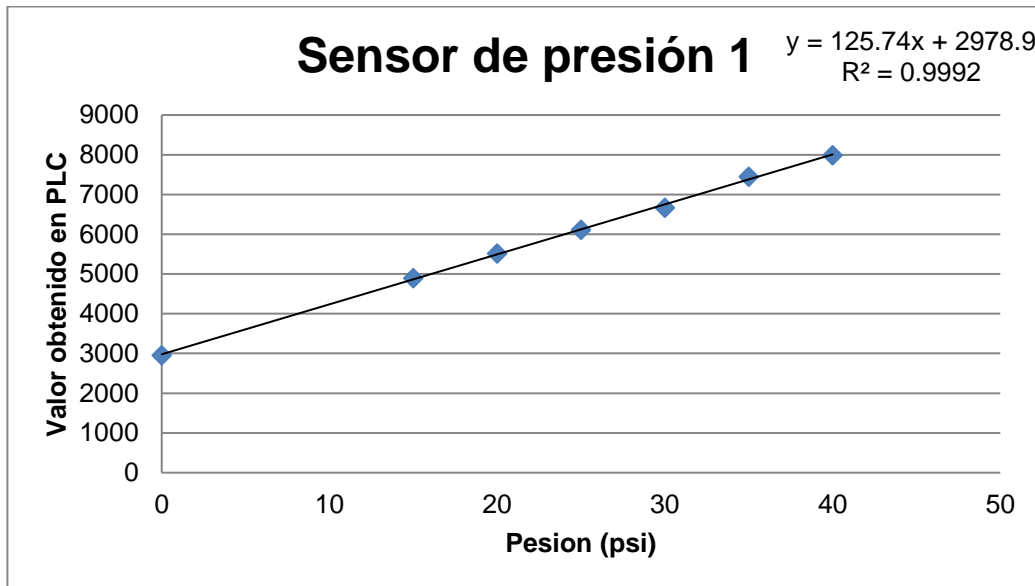
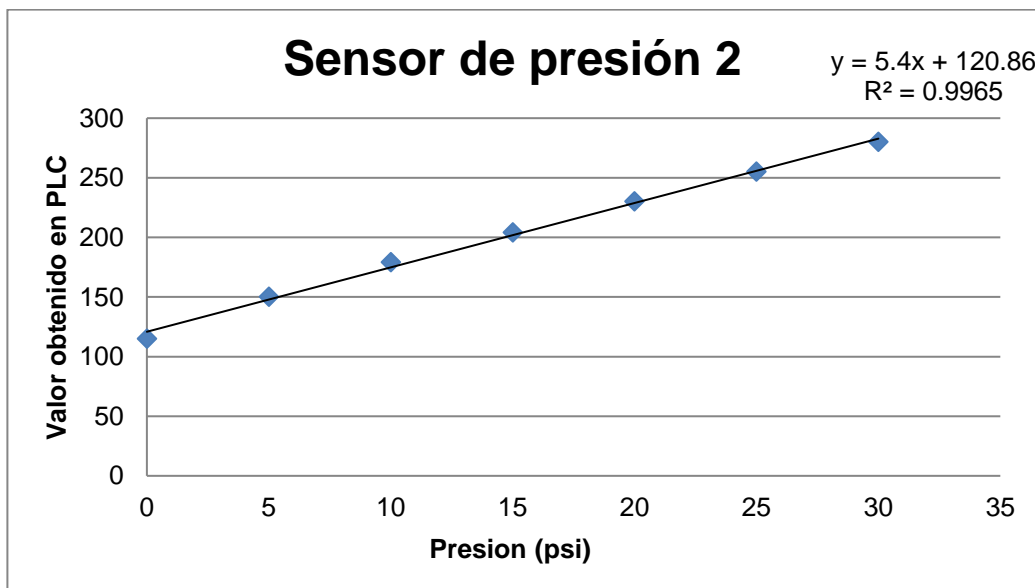


Figura 35. Gráfica de obtención de datos de sensor de presión parte Superior





## VIII. Discusión

El objetivo de este trabajo fue actualizar el sistema de automatización que controle el proceso de generación de  $H_2CO_3$  en la torre de absorción del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala basando en un diseño previo.

Para familiarizarse con el proceso se necesitó hacer una cita con el director de Ingeniería Química, el cual desarrollo una pequeña capacitación. Se explicó el funcionamiento de cada una de las válvulas manuales, como también la utilización de la bomba de agua y el enfriador. Durante la capacitación se establecieron los límites de temperatura, nivel y presión los cuales son necesarios para el funcionamiento de la torre de absorción.

Determinar el funcionamiento del equipo es vital para la debida optimización, debido que si se colocan equipo que no trabajan de forma correcta, puede tener un gran efecto negativo sobre el proceso de la creación de agua carbonatada. Para poder determinar el funcionamiento del equipo se realizaron pruebas antes de la colocación de cada uno de los sensores y actuadores. Para la calibración de los sensores se utilizó un termómetro y un manómetro, con ayuda de estas herramientas se pudo indicar el valor correcto de medición para su correcto funcionamiento. Las válvulas fueron llevadas al laboratorio del departamento de Electrónica para ser calibradas, debido que estas necesitan 24V para ser accionadas.

El diagrama P&ID del diseño anterior (Figura 23) contenía una serie de variaciones las cuales no eran correctas al ser comparados con el diseño del equipo. El diseño, anteriormente mencionado, poseía válvulas las cuales no eran necesarias sustituirlas como al mismo tiempo se encontraban situadas en lugares que no correspondía ser colocarlas; siguiendo el diseño anterior, se necesitaban 7 válvulas solenoides de las cuales solo se utilizaron 4, esto debido que una de estas ya se encontraba colocada en el sistema y dos válvulas, según su diseño, eran proporcionales.

La razón por la cual no se tuvo la necesidad de colocar las válvulas en la posición establecida por el diseño anterior, fue debido que se tuvo indicaciones por parte del departamento de química quienes solicitaron que dichas válvulas fueran de modo manual. Como resultado se vio la necesidad de modificar el diseño con el objetivo de suplir las necesidades tanto del equipo como del departamento (Figura 30).

Para poder actualizar la torre de absorción fue necesario la colocación de las válvulas solenoides, estas son necesarias debido que permiten el paso del fluido fuera y dentro de los tanques. Una de las necesidades del usuario es poder controlar la torre de absorción manualmente, por ende, se dejará la opción de la utilización de las válvulas manuales. Para ello se empleó un sistema llamado bypass, este permite la utilización de los dos tipos de válvulas simultáneamente cumpliendo las necesidades del usuario y los objetivos establecidos (Figura 27).

Para la implementación del sistema bypass fue necesario la fabricación de niples, conexiones universales 3/4", codos 3/4"; todos de acero inoxidable. Una vez colocadas las válvulas en el equipo, fue necesario la verificación de la existencia de fugas en las conexiones en el sistema.

El tanque 2 contenían agujeros de aproximadamente 1/4" para la colocación de los sensores, esto fue un problema debido que el equipo disponible para medir el nivel tenía un diámetro de 1/2". Para solucionar dicho problema fue necesario utilizar una lima con el fin de agrandar lo agujeros y así lograr realizar la medición de forma exitosa.

El cableado del tablero en la torre de absorción se encontraba de forma desordenada y sin ningún componente colocado, para esto se organizó todo el tablero. Se cablearon los sensores, válvulas y fuentes de alimentaciones necesarias para que el PLC leyera las señales de entrada y salidas correctas. Para la organización del PLC se incorporó 4 módulos de expansión, 2 de salida y 2 de entrada (Figura 28).

Una de las necesidades del sistema es lograr leer las diferentes presiones y temperaturas de forma correcta, por ende, se colocaron módulos de entradas analógicas debido que son los encargados de leer los sensores. El PLC posee un módulo de entradas digitales donde se conectó los sensores de nivel, estos están alimentados con 110 volts. Necesita esta cantidad de voltaje para encenderse debido que el PLC detecta un uno lógico.

En la implementación del tablero de la torre de absorción fue necesario la utilización de una fuente de 24 volts para la activación de válvulas y sensores de temperatura, esto no estaba previsto en el diseño anterior, por ende, se tuvo que utilizar otro tablero para adaptarlo de manera que funcionara de forma correcta.

Se colocaron contactares para el control de activación de los motores, los cuales son la bomba de agua y el enfriador como se puede observar en la figura 28. Esto se realizó para la protección del equipo debido que si se coloca directamente en una entrada digital del PLC esta podría ser dañada severamente.

Los sensores de temperatura utilizados son de tres hilos, estos poseen una pequeña fuente de error. Para poder determinar la temperatura se tuvo que utilizar una resistencia de 220 Ohms la cual se conectó en serie al sensor con el objetivo de medir el voltaje para poder determinar la temperatura que posee la RTD.

Para poder calibrar los sensores de temperatura fue necesario la utilización de un termómetro de mercurio. Para esto se necesitó encender el enfriador el cual baja la temperatura a tres grados centígrados; se fue midiendo grado por grado con el fin de poder obtener la gráfica correspondiente y así tener una mejor exactitud con los valores obtenidos por los sensores (Figura 30).

Los sensores de presión fueron colocados en una tubería la cual ingresa aire a una presión determinada la cual se puede controlar por medio de un manómetro. Se fue incrementando cada 5 psi con el fin de obtener la gráfica de cambio de voltaje contra las diferentes presiones. Para la programación del PLC se utilizó el software RsLogix el cual se programó en lenguaje Ladder.

Para la óptima estructuración del programa, se necesitó hacer un listado de todas las variables que se consideraban entradas y salidas en el sistema. Las variables de entrada, que se consideraron, son todos los sensores encargados de medir los niveles de los tanques, la presión de la torre de absorción y la temperatura de los líquidos. Las variables de salidas, que fueron consideradas, son todas las actuadoras del sistema, todas las válvulas y los convertidores I/P. Para los convertidores I/P, las señales que se necesitan para poder ser controlados deben ser 4-20 mA obteniéndolos mediante las salidas analógicas del PLC.

El programa tiene modalidad automático y manual en las que puede funcionar. La modalidad manual consiste que el usuario pueda controlar todo el sistema sin necesidad que el PLC tome control de ningún objeto, es decir, que se tiene control desde motores hasta las válvulas que se desean abrir o cerrar. En el modo automático, el PLC es el encargado de controlar el enfriador y la bomba de agua, debido que estas no se pueden activar si el nivel del tanque principal no presenta la cantidad de agua necesaria para funcionar.

Lo primero que realiza el programa, en modo automático, es el llenado del tanque principal; este se encarga de almacenar el agua potable. Una vez que el tanque principal se llena a la altura establecida, se activa la bomba de agua, la válvula de salida y de entrada del tanque principal recirculando el agua. Esto se realiza con el objetivo que, en el enfriador, el cual se prende 10 segundos después, fluya flujo en toda la torre debido que sin él puede llegar a tener problemas el sistema.

Una vez prendido el enfriador se monitorea la temperatura del tanque principal para que este llegue a 3°C. Es necesario enfriar el líquido debido que a esa temperatura la absorción de gases posee una mayor eficiencia. Cuando todos los parámetros están verificados y están de forma correcta, el programa informa al usuario que puede dejar de modificar el flujo de gas y de agua que fluye por la torre de absorción. Cuando en el sistema ingresa el líquido por la parte superior y la parte inferior el gas, estos producen una presión donde los sensores son capaces de medir y así el usuario es capaz de medir la caída o aumento de presión que se tiene en dichos puntos.

Los flujos de gas y de agua no se pudieron poner en total control debido a que las válvulas proporcionales no son de presión y esto hace que el valor de flujo que se desea no sea el correcto. Lo que se decidió hacer fue hacer una barra de control la cual se puede modificar la cantidad de presión que se desea inyectar en las válvulas para poder cambiar el flujo de gas o de agua. La información de la cantidad de flujo puede ser corroborada en los rotámetros que se encuentran frente a la torre de absorción.

La interfaz gráfica es la encargada de poder interactuar entre el usuario y el PLC. Esta muestra todos los estados en los cuales pueden estar los actuadores, como también muestra el valor obtenidos por los sensores. En la interfaz gráfica se puede modificar tanto el estado manual y como el estado automático; se puede activar las válvulas, encender la bomba de agua, accionar enfriador y cambiar flujos de gas y flujo.

Las válvulas que se solicitaron con anterioridad necesitan 10 psi para el 100% de eficiencia en el sistema, poseen un problema al ser conectadas con la bomba de agua debido que al momento de succionar estas no generan ninguna presión ocasionando a largo plazo inconvenientes en el funcionamiento del equipo. Por cuestiones de tiempo no se pudo resolver dicho problema, por ende, se utilizaron las válvulas con las características anteriormente descritas.

## IX. Conclusiones

- Se actualizó el sistema de control de la torre de absorción del Laboratorio de Operaciones Unitarias con la utilización de un PLC y la colocación de sensores y válvulas, como también, la utilización de una interfaz gráfica para representar el proceso de agua carbonatada.
- Se logró comprobar que el previo diseño contiene errores, los cuales fueron corregidos actualizado de forma correcta el diagrama P&ID.
- Se colocaron sensores para el monitoreo de temperatura, presión y niveles de agua, estas variables tienen un alto impacto en el proceso en la creación de agua carbonatada.
- Se creó un programa en el PLC con la capacidad de poder controlar el proceso de la creación de  $H_2CO_3$ . El software que se utilizó fue RsLogix; por medio de esta herramienta, se programó el funcionamiento del sistema utilizando el lenguaje Ladder. Este programa es capaz de analizar y de tomar decisiones en base a la lectura de los sensores, y así poder tener un mejor funcionamiento en la torre de absorción.
- Se logró la creación de una interfaz gráfica con el programa FactoryTalk, en el cual se puede visualizar todos los estados de las válvulas como los valores de los sensores.
- Se colocaron actuadores, tales como válvulas y contactores, los encargados de controlar el accionamiento del enfriador y de la bomba de agua.



## X. Recomendaciones

- Para un mejor funcionamiento, se recomienda cambiar las válvulas actuales, las cuales se encuentran conectadas a la bomba de agua, por unas que trabajen con 0 psi para una mayor eficiencia al momento de la succión.
- Se recomienda el mantenimiento continuo del equipo para una larga duración, esto debido que en el Laboratorio de Operaciones Unitarias se trabajan con una variedad de sustancias los cuales pueden generar un efecto negativo en el buen funcionamiento del equipo.
- Cambiar las válvulas proporcionales a unas que posean una mayor exactitud, debido que estas se encargan del control del flujo de agua y gas. Esto con el objetivo de obtener un mejor control total de la torre de absorción.



## XI. Bibliografía

ABB Automation Products. *Convertidor de señales I/P*. Obtenido en: [https://library.e.abb.com/public/54380e36fb2deecfc1257ab70036a4f7/42\\_18\\_4\\_6\\_ES\\_I.pdf](https://library.e.abb.com/public/54380e36fb2deecfc1257ab70036a4f7/42_18_4_6_ES_I.pdf).

Bolton, W. (2006). *Programmable Logic Controllers*. Cuarta Edición. Elsevier. Reino Unido. 303 págs. UTN. (2012). *Universidad Tecnológica Nacional*. Obtenido de <http://www.fra.utn.edu.ar>.

Catalunya, SL y Hepler, Loren G. (1968). *Principios de Química*. Editorial Reverte. 1era. Edición. España, Barcelona. 527 págs.

Cengel, Yunus. (2007). *Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico*. McGRAW-HILL. 3era.

F. Torres. *Clase 3. Sensores. Universidad de Alicante*. [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18434/1/Tema%203\\_Sensores%20II.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18434/1/Tema%203_Sensores%20II.pdf).

Giron, N. (2017). *Control Automático de la Torre de Absorción del Laboratorio de Operaciones Unitarias de La Universidad Del Valle De Guatemala*. Tesis de Graduación, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, Guatemala.

McCabe, Smith & Harriot. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Séptima Edición. McGraw Hill. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. 1189 págs.

Mejía, A. (2005). *Guía práctica para manejar y Reparar el Computador*. Onceava Edición. Colombia. Panamericana Formas e impresos. 326 págs.

Páez Rivera, Oscar. Norma ISA. Univerisdad de Satiago de Chile. Obtenido en: [http://www.automaticausach.cl/asignaturas/controlautind/304\\_Norma\\_ISA\\_PID.pdf](http://www.automaticausach.cl/asignaturas/controlautind/304_Norma_ISA_PID.pdf).

Pallas Areny, Ramón. *Sensores y acondicionamientos de señal*. 2da Edición. Barcelona. Rockwell Automation. (2008). *RSLinx Classic*. Obtenido en: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/lnx-gr001\\_-es-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/lnx-gr001_-es-e.pdf).

Ponsa, P. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*.

Universidad Politécnica de México. México. 901 págs. [L]  
[SEP]

Rockwell Automation. (2016). *FactoryTalk View Machine Edition*.  
Obtenido en:  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/viewme-um004\\_-en-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/viewme-um004_-en-e.pdf).

Sánchez, José Acedo. (2006). *Instrumentación y control avanzado de procesos*. Ediciones Díaz de Santos. España. 632 págs.





Figura 40. Colocación de válvulas con modificación de bomba

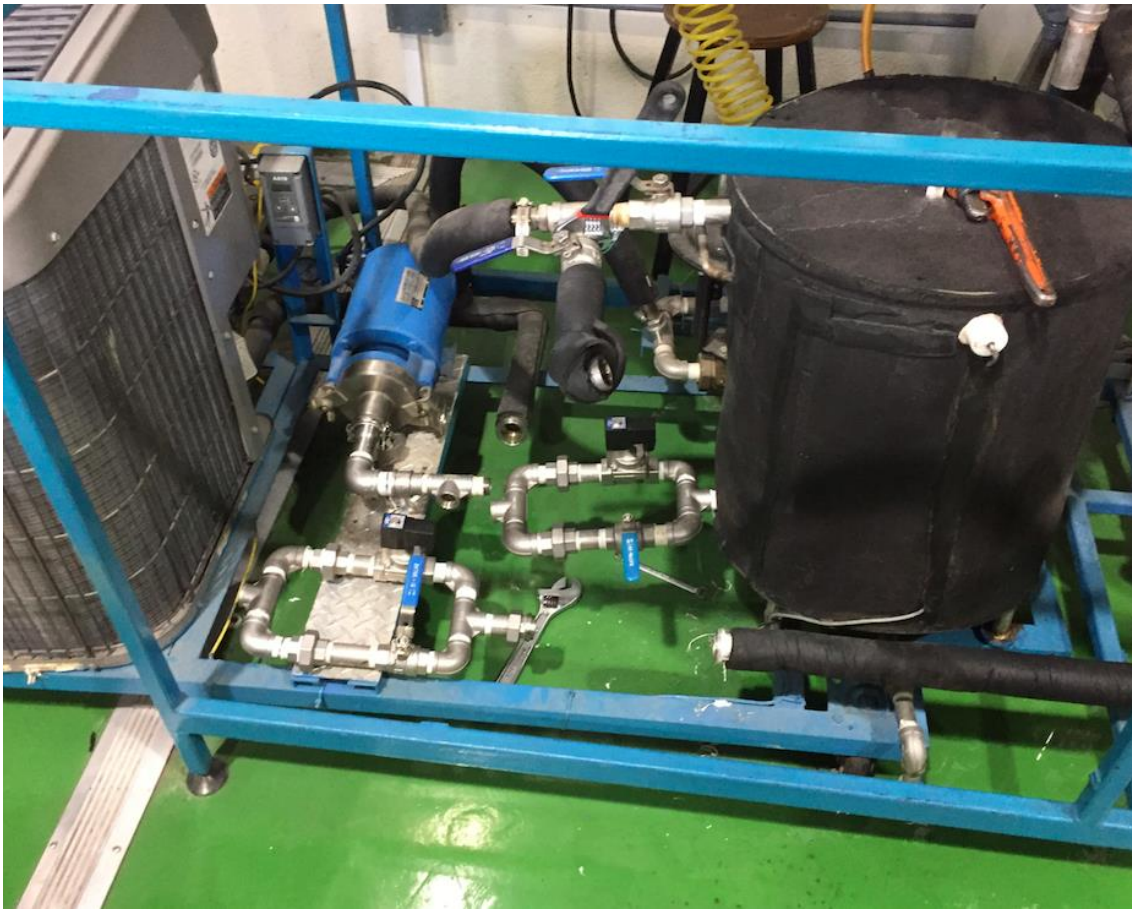


Figura 41. Tabla de módulos de entrada del PLC

TORREDEABSORCION																		
Data File I1 (bin) -- INPUT																		
Offset	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
I:0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B
I:0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B
I:0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B
I:0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B
I:0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B-Analog
I:0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B-Analog
I:2.0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1762-IF2OF2	- Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. O
I:2.1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1762-IF2OF2	- Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. O
I:2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-IF2OF2	- Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. O
I:2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-IF2OF2	- Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. O
I:2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-IF2OF2	- Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. O
I:2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-IF2OF2	- Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. O
I:3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-OF4	- 4-Channel Analog I/V Output Module
I:3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-OF4	- 4-Channel Analog I/V Output Module
I:4.0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:4.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:4.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:4.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:4.6	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input

Figura 42. Tabla de módulos de salidas del PLC

TORREDEABSORCION																	
Data File 00 (bin) -- OUTPUT																	
Offset	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
O:0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763 MicroLogix 1100 Series B
O:0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763 MicroLogix 1100 Series B
O:0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763 MicroLogix 1100 Series B
O:0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763 MicroLogix 1100 Series B
O:1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-OW16 - 16-Output (RLY) 240 VAC
O:2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-IF2OF2 - Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. O
O:2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-IF2OF2 - Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. O
O:3.0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1762-OF4 - 4-Channel Analog I/V Output Module
O:3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-OF4 - 4-Channel Analog I/V Output Module
O:3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-OF4 - 4-Channel Analog I/V Output Module
O:3.3	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1762-OF4 - 4-Channel Analog I/V Output Module