

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MONITOREO Y CONTROL DE UNA UNIDAD DE DESTILACIÓN CONTINUA A ESCALA PILOTO EMPLEANDO UN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN INFORMÁTICO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Alan A., Aristimuño F.
Para optar al Título
De Ingeniero Químico.

Caracas, 2012.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MONITOREO Y CONTROL DE UNA UNIDAD DE DESTILACIÓN CONTINUA A ESCALA PILOTO EMPLEANDO UN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN INFORMÁTICO

Tutor Académico: Prof. Andrés Rosales

Tutor Industrial: Ing. Domingo Ramírez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Alan A., Aristimuño F.
Para optar al Título
De Ingeniero Químico.

Caracas, 2012.

Caracas, Junio de 2012

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Alan A. Aristimuño F., titulado:

“Monitoreo y control de una unidad de destilación continua a escala piloto empleando un lenguaje de programación informático”

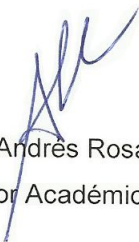
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.



Prof. Simón J. Morales M.
Jurado



Prof. Nelson R. Mata C.
Jurado



Prof. Andrés Rosales
Tutor Académico



Ing. Domingo Ramírez
Tutor Industrial

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, no sólo por la formación académica que me ha brindado, sino también por todas las lecciones de vida y momentos inolvidables que viví en ella.

A mis tutores Andrés Rosales y Domingo Ramírez, por ofrecerme la oportunidad de formar parte de este gran proyecto, así como también por brindarme su asesoría y apoyo en todo momento.

A toda mi familia, pero en especial a mis padres Noemí Fernández y Efraín Aristimuño, por ser las personas que me dieron la vida y por el apoyo brindado en todo momento.

A mis hermanos Alejandra Fernández y Efraín Aristimuño, por presionarme a terminar este trabajo.

Al señor Edgar Ferreira por todo el apoyo que me brindó para entender la parte eléctrica del trabajo.

A Alexander Pérez y el señor Armando Martínez, por siempre encontrarse disponible en el LOU cuando se presentaban problemas con el equipo.

Y por último a todos esos amigos con los que compartí muchos momentos inolvidables, pero en especial a Moisés, Karina, Emily, Luisiana, Claudio y Lisseth.

Aristimuño F., Alan A.

MONITOREO Y CONTROL DE UNA UNIDAD DE DESTILACIÓN CONTINUA A ESCALA PILOTO EMPLEANDO UN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN INFORMÁTICO

Tutor Académico: Prof. Andrés Rosales. Tutor Industrial: Ing. Domingo Ramírez. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2012, 141p.

Palabras Claves: Monitoreo, Control de Procesos, Destilación, LabView (Programa), Protocolo UDP.

Resumen. En los últimos años se le ha sumado importancia al desarrollo de softwares para el control de proceso, es por esto que el presente trabajo tuvo como finalidad realizar el monitoreo y control de la unidad de destilación continua de la Escuela de Ingeniería Química de la UCV, utilizando el software LabView en el diseño del sistema de adquisición de datos, instrumentación y control; en el caso de la adquisición de datos se empleo como transductor de las señales recibidas una tarjeta NI USB-6009, siendo estas señales correspondientes con las variables del proceso, identificando las mismas de acuerdo a su tipo y característica. El monitoreo de las temperaturas de la columna, la presión residual, la presión diferencial y el caudal de agua de enfriamiento, se realizó diseñando a través de LabView una interfaz de usuario (HMI), permitiendo así la visualización de las mismas por medio de gráficas del comportamiento en función del tiempo. Asimismo se identificaron, se programaron y se ajustaron los diferentes lazos de control, como el flujo de agua de enfriamiento, la presión de vacío y la temperatura del sexto plato de la columna; dicho ajuste se realizó mediante cálculo manual de los parámetros de los controladores. Para finalizar realizó un programa para la visualización en red de las variables de la planta usando el protocolo de comunicaciones User Datagram Protocol (UDP), el cual se encargó de enviar la información por la red local de la universidad.

ÍNDICE GENERAL

LISTADO DE FIGURAS	x
LISTADO DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
I.1. Planteamiento del Problema.....	3
I.2. Objetivos.....	5
I.2.1. Objetivo General.....	5
I.2.2. Objetivos Específicos	5
I.3. Antecedentes.....	7
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO.....	11
II.1. Destilación	11
II.2. Unidad De Destilación Continua Automatizada (UDCA).....	12
II.2.1. Descripción de la UDCA	12
II.2.2. Descripción del proceso de UDCA	13
II.2.3. Descripción del funcionamiento manual del equipo.....	14
II.2.4. Descripción del funcionamiento automático del equipo (original).....	15
II.3. LabView	16
II.3.1. Usos Principales de LabView	16
II.3.2. Características principales de LabView	17
II.3.3. Hardware de Adquisición de Datos (DAQ)	17
II.3.3. Análisis del software LabView	18
CAPÍTULO III	30
MARCO METODOLÓGICO	30
III.1. Funcionamiento de la unidad de destilación continua.....	31

III.2. Identificación de los componentes de la unidad de destilación continua.....	31
III.3. Identificación de las señales de la UDCA	31
Señales Analógicas	32
Señales Digitales.....	32
III.4. Adquisición de las señales de la unidad de destilación continua.....	32
III.5. Diseño de la interfaz grafica HMI.	33
III.6. Control automatizado de la unidad de destilación continua.	33
III.7. Visualización en red de las variables de la planta.....	34
III.8. Manual de operación.	34
CAPÍTULO IV	35
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
IV.1. Funcionamiento De La Unidad De Destilación Continua.....	35
IV.2. Componentes De La Unidad De Destilación Continua	36
IV.2.1. Componentes de proceso de la UDCA	36
IV.2.2. Componentes Eléctricos y electrónicos de la UDCA.....	39
IV.3. Tipos Y Características De Las Señales De La UDCA.....	45
IV.3.1. Señales analógicas de la UDCA	46
IV.3.2. Señales digitales de la UDCA	50
IV.4. Adquisición De Las Señales De La UDCA	54
IV.4.1. Instalación de la tarjeta NI USB-6009	54
IV.4.2. Programa para la adquisición de señales.	55
IV.5. Interfaz gráfica HMI	58
IV.6. Control Automático De La UDCA	63
IV.7. Visualización En Red De Las Variables De La Planta.....	69
IV.8. Manual De Operación De Los Programas De La UDCA	73
CONCLUSIONES.....	74

RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	78
APÉNDICE	81
APÉNDICE A	85
Componentes De La Unidad De Destilación Continua	85
APÉNDICE B	99
Programación De La Bomba (G1) De La UDCA.....	99
APÉNDICE C	101
Calibración De Señales Analógicas De La UDCA	101
APÉNDICE D	110
Programación Del Método PWM Para El Control De La Potencia De La Resistencia Eléctrica De La UDCA.....	110
APÉNDICE E	111
Programación De La Señal De Pulsos Enviada A La Bomba De Alimentación De La UDCA.....	111
APÉNDICE F	113
Programación De La Señal Digital Equivalente A Los Tiempos De La Electroválvula De La UDCA.....	113
APÉNDICE G	115
Programación Realizada Para El Respaldo (Salvado) De Los Datos.....	115
APÉNDICE H	117
Programación Realizada Para Reportar Variables En Excel En Tiempo Real.....	117
APÉNDICE I.....	119
Manual De Operación De Los Programas (Disp_Torre_Destilacion y Lectura_UDP) De La UDCA.....	119
ANEXOS	132
Anexo 1: documentación técnica de la tarjeta IA USB-6009.....	133

Anexo 2: documentación técnica de la tarjeta ID USB-6009.	135
Anexo 3: Documentación técnica del convertidor tensión-corriente	
CTC1.....	137

LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1: Unidad de destilación continua (UDCA).....	12
Figura N° 2: Diagrama de Flujo de proceso de la UDCA	13
Figura N° 3: Pasos para mostrar el icono de Show Connector.	19
Figura N° 4: Panel frontal y Diagrama de Bloques del entorno LabView.	20
Figura N° 5: Paletas de Controles, Funciones y Herramientas de LabView.	21
Figura N° 6: Controles de LabView.	24
Figura N° 7: Indicadores de LabView.....	24
Figura N° 8: Estructuras (while loop, case structure, event structure, for loop y stacked sequence structure) de LabView.	25
Figura N° 9: Representación esquemática de la metodología a emplear.	30
Figura N° 10: Gráfica de Flujo máximo en función de la embolada de la bomba de alimentación de la UDCA.	39
Figura N° 11: Cajetín de la UDCA antes y después de las modificaciones... ..	44
Figura N° 12: Señal de Temperatura de la UDCA.....	46
Figura N° 13: Señal de Flujo de Agua de Enfriamiento de la UDCA.....	47
Figura N° 14: Señal de Presión de vacío de la UDCA	48
Figura N° 15: Señal de Presión Diferencial de la UDCA.....	48
Figura N° 16: Señal de la Válvulas Neumáticas de la UDCA.....	49
Figura N° 17: Señal de la Bomba de Alimentación de la UDCA	50
Figura N° 18: Señal de la Bomba de Vacío de la UDCA.....	51
Figura N° 19: Señal de la Resistencia Eléctrica de la UDCA.....	52
Figura N° 20: Señal de la Electroválvula de la UDCA.....	53
Figura N° 21: Adquisición de señales analógicas de la UDCA	54
Figura N° 22: Primer módulo “Generación de canales”.....	56
Figura N° 23: Segundo módulo “adquisición y procesamientos de las señales”.	57
Figura N° 24: Pantalla Principal del Programa UDCA.....	59

Figura N° 25: Visualización del comportamiento de las variables en tiempo real.....	62
Figura N° 26: Interfaz para el control del flujo de agua de enfriamiento.....	65
Figura N° 27: Interfaz para el control de la presión de vacío.	67
Figura N° 28: Interfaz para el control de la temperatura del sexto plato	68
Figura N° 29: Módulo utilizado para la publicación de las variables de la planta vía UDP.....	69
Figura N° 30: Módulo utilizado para la lectura de las variables de la planta vía UDP.	71
Figura N° 31: imagen del Panel de Información del programa de Lectura_UDP.vi.....	72

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 1: Ventajas y desventajas al operar la UDCA en modo automático.	35
Tabla N° 2: Descripción de los componentes de proceso de la UDCA.....	37
Tabla N° 3: Descripción de los componentes eléctricos electrónicos originales de la UDCA.	40
Tabla N° 4: Descripción de los componentes eléctricos-electrónicos nuevos de la UDCA.	43
Tabla N° 5: Lazos de control de la UDCA.....	63

INTRODUCCIÓN

Aunque en el pasado podía considerarse que el único objetivo del control de procesos consistía en mantener una operación estable del proceso, actualmente las industrias se enfrentan a un mercado cambiante y difícil de predecir. Además en este momento los sistemas de monitoreo y control en la industria de procesos, deben satisfacer criterios económicos, asociados con las variables de proceso. Razón por la cual la industria de procesos requiere mejorar el control de sus unidades mediante la instrumentación necesaria y adecuada, además de contar con sistemas de monitoreo que permitan minimizar costos de instrumentación, cableado e implementación, con el objetivo de incrementar la calidad de la producción y el nivel de seguridad de la planta.

En la actualidad los sistemas de control por computador están siendo utilizados con mucha frecuencia, esto se debe a que los nuevos computadores encontrados en el mercado son cada vez más potentes y de menor costo económico, permitiendo de esta manera ser adquiridos y utilizados con los software adecuados para el control en tiempo real de las variables asociadas al proceso que se lleva a cabo en la planta.

Uno de los procesos más comunes en la industria química es la destilación, este proceso tiene como objetivo principal separar una mezcla de varios componentes aprovechando la diferencia de volatilidad entre ellos. Las columnas de destilación se caracterizan por tener diferentes variables que se deben controlar, tales como: la composición de los productos, el nivel de líquido en el rehovidor y condensador, la presión de la columna, entre otras. Estas variables desde hace un tiempo atrás vienen siendo controladas mediante sistemas automatizados de control que favorecen la producción con niveles de seguridad, confiabilidad y precisión, facilitando así la labor

humana. Razones por las cuales el presente trabajo propone realizar el monitoreo y control de una unidad de destilación continua a escala piloto empleando un lenguaje de programación informático.

Es por ello que para la comprensión y manejo de este trabajo se estructuro el mismo por capítulos. El capítulo uno (I) contiene los fundamentos de la investigación, como lo son: el planteamiento del problema, los objetivos y los antecedentes. El capítulo (II) se refiere a un resumen teórico de los conocimientos necesarios para la comprensión de este trabajo, comenzado desde la destilación, aspectos importantes de la unidad de destilación continua (UDCA) y las características del software LabView. Además se presenta en el capítulo tres (III) la metodología establecida para desarrollar los objetivos específicos planteados. Seguido del capítulo (IV) donde se presentan los resultados y análisis de los mismos. Y finalmente se presenta una sección donde se disponen las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo. Adicionalmente cuenta con una sección de apéndice el cual contiene información necesaria para la comprensión del trabajo, así como el respectivo manual de los programas desarrollados.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1. Planteamiento del Problema

Con el transcurso del tiempo la tecnología informática ha avanzado significativamente, y es por esto que hoy en día la implementación de nuevas tecnologías que contribuyen a la optimización en plantas de procesos químicos en automatización y control industrial, han sido una de las razones de las empresas para mejorar sus instalaciones y garantizar la continuidad operativa de los procesos buscando el costo-beneficio de la inversión. En la actualidad uno de los grandes retos que están afrontando la industria de procesos, es la reducción de costos de mantenimiento e instrumentación.

En el laboratorio de operaciones unitarias (LOU) de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central de Venezuela (EIQ-UCV) se encuentra una unidad de destilación continua a escala piloto, la cual es utilizada en la actualidad como experiencia que permite al estudiante familiarizarse con el funcionamiento y operación manual de una columna de destilación para la separación de mezclas binarias. Por otro lado la unidad dispone de la opción de implementar la versión automatizada y computarizada para su operación, sin embargo la misma nunca fue puesta en funcionamiento debido a la ausencia del software y deterioro del indicador-controlador de microprocesador. Tomando en cuenta lo antes mencionado la EIQ-UCV se puso en contacto con el proveedor de este equipo para solucionar dichos problemas, mas la solución propuesta por los mismos fue comprar un equipo nuevo, lo cual no resultaba económicamente factible para la EIQ-UCV, por lo cual se descarto esta opción.

Es de gran importancia destacar que a nivel industrial es un requerimiento cada vez más necesario la relación entre la planta y la informática, haciéndose indispensable que los estudiantes de la EIQ-UCV se familiaricen con la tecnología. Es por esta razón que se propuso un proyecto que tuvo como finalidad la puesta en marcha de la versión automatizada de la unidad de destilación continua a escala piloto mencionada anteriormente y a su vez contar con una herramienta que amplíe los conocimientos de los estudiantes y profesores dentro del área de monitoreo y operación automatizada de este tipo de equipos. Para esto se utilizó un hardware que permitió que el equipo trabajara de forma automática, sin tener que realizar una gran inversión económica. A demás del hardware se empleó el software de programación gráfica LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) usado para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control, con el cual se diseñó una interfaz de usuario que permitió el monitoreo y control de las distintas variables del sistema, así como también la visualización en red de las misma con el fin de observar a distancia su comportamiento.

I.2. Objetivos

I.2.1. Objetivo General

Realizar el monitoreo y control de una unidad de destilación continua a escala de laboratorio empleando un lenguaje de programación informático.

I.2.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el funcionamiento de la unidad de destilación continua.
- Identificar los componentes eléctricos, electrónicos y de procesos de la unidad destilación continua, antes y después de realizar las modificaciones necesarias para trabajar en versión automática.
- Identificar los tipos y las características de todas las señales de la unidad de destilación continua.
- Realizar la conexión de las señales de temperaturas de la columna, presión del sistema, presión diferencial y caudal de entrada del agua de enfriamiento utilizando la tarjeta NI USB-6009.
- Desarrollar un programa para la adquisición de las señales utilizando el lenguaje de programación LabView.
- Diseñar la interfaz grafica HMI (Interfaz Hombre-Máquina) utilizando el lenguaje de programación LabView, que permita el monitoreo de las variables de la UDCA.
- Realizar el control automatizado de la unidad de destilación utilizando el lenguaje de programación LabView para el control de las diferentes variables del sistema.
- Integrar al programa la propagación de las variables de la planta en la red local, mediante el protocolo de comunicación UDP (User Datagram Protocol) para el monitoreo a distancia de la UDCA.

- Realizar un programa para la visualización de las variables propagadas en la red, así como también el diseño de su respectiva interfaz gráfica.
- Elaborar un manual de operación sobre el uso de los programas desarrollados.

I.3. Antecedentes

Las investigaciones del proceso de destilación más recientes están basadas en las mejoras de los sistemas de monitoreo y control, así como de la implementación de algoritmos de automatización y control. A continuación, se mencionaran y explicaran algunos trabajos que se han realizado con respecto a desarrollos de sistemas de monitoreo aplicados a columnas de destilación, así como también trabajos de investigación relacionados con el modelado de columnas de destilación:

- (Zamarreño C., 2003) Muestra en su trabajo la comunicación de LabView con EcosimPro para la generación de predicciones en una columna de destilación de una empresa azucarera situada en España (ciudad de Sevilla). El objetivo de este trabajo fue realizar un instrumento virtual con el fin de ayudar a los operarios a tomar decisiones sobre la columna, así como también realizar a futuro un sistema automático de control. Este software utilizó una herramienta matemática (EcosimPro) capaz de modelar cualquier sistema representado por ecuaciones algebraico-diferenciales y eventos discretos. Los datos del proceso provenientes del simulador son suministrados a LabView vía OPC, siendo este un estándar de comunicaciones industriales que permite el intercambio de datos entre aplicaciones de automatización, en una arquitectura cliente-servidor.
- (Rivas, 2006) En su trabajo presentó el desarrollo de una estación de monitoreo para una planta piloto de destilación ubicada en CENIDET (Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico), donde utilizó el protocolo MODBUS para la comunicación entre la computadora y la planta piloto de destilación, El diseño del sistema de monitoreo se realizó en el programa LabView donde se presenta en un ambiente gráfico amigable para el operador, con la capacidad de

monitorear y manipular las variables físicas que intervienen en el proceso de destilación, sin embargo el control de la columna no se realizó en la computadora, si no utilizando dos controladores Digitric 500. Además en este trabajo se presentó la implementación de un modelo matemático para estimar en línea las composiciones molares en cada etapa de la columna de destilación, debido al alto costo de los equipos necesarios para medir las concentraciones.

- (Espinoza & Pérez, 2009) En su trabajo de tesis diseñan, construyen e implementan un sistema de control asistido por computadora, basado en software libre y en un diseño de hardware propio para la planta piloto de destilación del CENIDET, sustituyendo a los controladores de fábrica. El diseño se realiza de forma modular tanto en la parte hardware como software, lo que brinda una mayor flexibilidad a la totalidad del sistema, permitiendo adaptarlo con facilidad a otro tipo de sistemas o aplicaciones. En la parte electrónica se emplean componentes de fácil adquisición para facilitar el sustituir, reparar o modificar alguno de sus elementos. Se desarrolla una interfaz gráfica de supervisión y control más completa, amigable y flexible en comparación con la que acompaña a los controladores originales. En vez de utilizar software propietario como Matlab/Simulink™ y LabView™, se emplea Scilab/Sicos para diseñar y aplicar nuevos controladores. De esta forma se aumenta el potencial de uso de la columna de destilación eliminando las restricciones del equipo original.
- (Blanco & Inciarte, 2009) Presentaron un trabajo donde se desarrolló un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para una columna de destilación de Benceno–Tolueno, permitiendo supervisar las variables de importancia y controlar las variables críticas de manera remota en el proceso. Además en este sistema se observan las alarmas generadas en tiempo real, el comportamiento de

las señales de interés a través del tiempo y también se pueden almacenar los valores en una base de datos. El proceso de destilación se simuló matemáticamente utilizando el Toolbox Simulink de MATLAB y el SCADA se implementó con el software de National Instruments LabView, el cual puede ser ejecutado bajo la topología cliente-servidor, permitiendo realizar la supervisión remotamente utilizando una red.

- (Azancot, 2010) En su Trabajo Especial de Grado elaboró un proyecto de ambiente de simulación y entrenamiento de planta (ASEP), con el cual desarrolló un modelo adecuado que permite la capacitación de los operarios, además de dotar al personal con una herramienta tecnológica que permita una operación más eficiente y segura de la planta. En el programa se desarrolló el modelado y simulación tanto en estado estacionario como en dinámico de la columna recuperadora de metanol de la planta METOR, utilizando MATLAB como lenguaje de programación.
- (Téllez, 2010) En su trabajo de grado presenta el diseño e implementación, en línea, de un sistema de SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) que integra diversos métodos de monitoreo y detección de fallas con la finalidad de incrementar los niveles de seguridad, confiabilidad y operación continua del proceso de destilación, haciendo más segura y fácil la labor de sus operadores. Además proporciona información al usuario acerca de las variables para cada uno de los platos, permitiendo emplear esta información en tareas de control a la columna. La supervisión se basa en un sistema de detección y localización de fallas (FDI), empleado para detectar fallas aditivas en los sensores de temperatura ubicados en la columna de destilación. El sistema FDI emplea un esquema de banco de observadores dedicado (DOS) que estiman las

concentraciones y las temperaturas en los platos de la columna permitiendo reducir el trabajo y tiempo computacional utilizado en su implementación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1. Destilación

La destilación continua es un proceso en contra corriente que se da en varias etapas. Por lo general mediante este método es posible separar los componentes de una solución y recuperar cada componente en el estado de pureza que se desee (Treybal, 1988).

La destilación continua posee la ventaja de que su funcionamiento es simple, requieren una baja inversión inicial en relación a otros procesos de separación como la absorción, sublimación, filtrado, evaporación o en ocasiones la extracción, también es considerada un proceso de bajo riesgo (McCabe, 1991).

En la destilación, la mezcla de alimentación se introduce por lo general en el medio de la columna. El vapor que se eleva en la zona de enriquecimiento (sección arriba de la alimentación) se lava con el líquido para eliminar o absorber el componente más liviano. Este líquido proviene del vapor enriquecido del componente más volátil, el cual es condensado y devuelto a la columna con el nombre de reflujo. En la zona de agotamiento (sección debajo de la alimentación) el líquido que cae en la columna se desorbe del componente volátil mediante un vapor generado en el rehervidor, este vapor se produce por medio la evaporación parcial del líquido proveniente del fondo de la columna, el cual se denomina residuo y se encuentra enriquecido con el componente menos volátil (Treybal, 1988).

II.2. Unidad De Destilación Continua Automatizada (UDCA)

II.2.1. Descripción de la UDCA

El equipo de destilación continua que se encuentra en el laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central de Venezuela [ver figura N° 1] consta de una columna de siete platos de campana, un condensador de tope, un rehervidor, depósitos para la mezcla de alimentación, destilado y residuo, una bomba dosificadora de desplazamiento positivo para la alimentación, una bomba de vacío, una resistencia eléctrica, seis termorresistencias, dieciocho válvulas de paso rápido, una electroválvula de control de reflujo, tres intercambiadores de calor. Además cuenta con un panel de control, en donde se encuentran interruptores para encender y apagar: las bombas, resistencia y la electroválvula, además cuenta con dos temporizadores con los cuales se fijan los tiempos de apertura y cierre de la electroválvula, y también cuenta con seis indicadores de temperatura digitales (Electronica Veneta, 1998).



Figura N° 1: Unidad de destilación continua (UDCA).

II.2.2. Descripción del proceso de UDCA

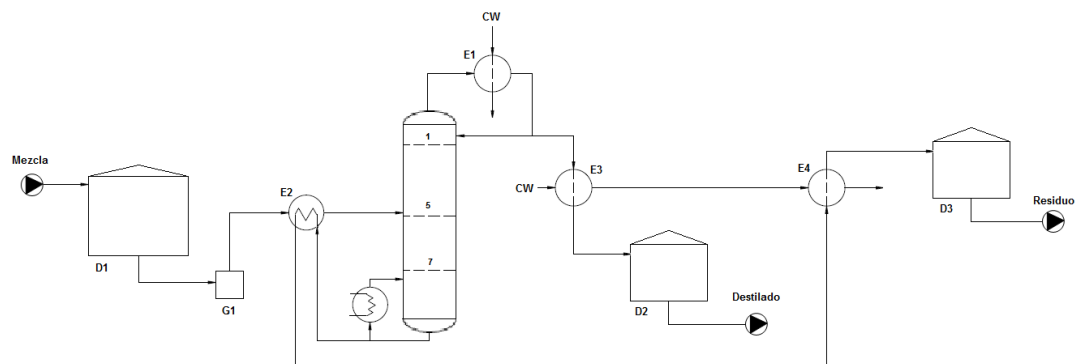


Figura N° 2: Diagrama de Flujo de proceso de la UDCA

La alimentación binaria colocada en el depósito D1 es bombeada a un flujo constante hacia la columna mediante el dispositivo de desplazamiento positivo G1, después de salir de la bomba esta mezcla es precalentada en el intercambiador E2 con el calor del producto de fondo proveniente del rehervidor, para luego ser ingresada en el quinto plato de la columna de destilación C1.

La mezcla que se encuentra en el rehervidor es calentada mediante la resistencia eléctrica J1 donde los vapores resultantes ascienden por la columna C1 en un intercambio de masa que toma lugar en los platos de la misma, este intercambio ocurre con el líquido que desciende del condensador de tope E1, el cual es dirigido a la electroválvula EV1, donde se mantiene la relación de reflujo según el tiempo de apertura y cierre de la misma. El flujo de destilado que no es recirculado a la columna, pasa por el intercambiador de calor E3, donde es enfriado con agua de servicio para luego ser almacenado en el tanque D2.

El residuo o producto de fondo es enfriado en dos etapas, la primera ocurre en el intercambiador E2, donde se transfiere calor a la corriente de alimentación y la segunda ocurre en el intercambiador E4, donde se transfiere calor con el efluente de agua de enfriamiento del intercambiador E3, para luego ser almacenado en el depósito D3.

II.2.3. Descripción del funcionamiento manual del equipo.

Primero se coloca el equipo en versión manual girando la perilla “Man-Auto” hasta colocarla en “Man” y luego se enciende el equipo en el panel de control, La mezcla binaria es almacenada en un depósito, para luego ser alimentada en la columna por medio de la bomba dosificadora (manipulada manualmente por el operador) hasta llenar la caldera , luego se cierran y se abren las respectivas válvulas para trabajar a presión atmosférica o a presión reducida, y se conecta la red hídrica fijando un caudal de agua de enfriamiento al condensador de tope manipulando manualmente un válvula de paso rápido, luego girando las respectivas perillas en el panel de control se enciende la resistencia eléctrica y se define la potencia que será suministrada para calentar la disolución del rehervidor.

Luego se debe esperar que los vapores generados en el rehervidor se condensen, para luego empezar a tomar cortes de destilado manteniendo una razón de reflujo preestablecida, esta razón se mantiene colocando los tiempos de START y STOP de los temporizadores de la electroválvula de reflujo que se encuentran en el panel de control Luego se comienza a tomar muestras de los productos (destilado y fondo) hasta cumplir con las especificaciones composición deseada, para luego realizar la parada respectiva de la planta. (Electronica Veneta, 1998)

II.2.4. Descripción del funcionamiento automático del equipo (original).

Primero se coloca el equipo en versión automática girando la perilla “Man Auto” hasta colocarla en “Auto”, luego se procede a encender el equipo activando presionando el botón verde en el panel de control. Luego se programa la bomba dosificadora para que pueda ser gobernada mediante la señal analógica procedente del controlador, siendo esta señal manipulada desde el computador por el operador. Después se debe alimentar a la columna la mezcla binaria, esto se realiza activando desde el computador la bomba dosificadora hasta llenar la caldera y cubrir en su totalidad la resistencia eléctrica, para posteriormente abrir y cerrar las respectivas válvulas con el fin de definir el tipo de presión a la que se desea trabajar (atmosférica o vacío).

Luego de haber realizado lo descrito en el párrafo anterior se debe conectar la red hídrica y fijar un caudal de agua de enfriamiento que entra al condensador de tope manipulando la válvula neumática de control del flujo de agua de enfriamiento (VCF) mediante una de las salidas del controlador. Después se debe calentar la mezcla que se encuentra en el rehervidor, esto se realiza regulando la potencia a la resistencia eléctrica, la cual se define en el computador. Seguidamente se debe esperar que la mezcla en el rehervidor comience a vaporizarse hasta que el vapor generado retorne a la columna en forma de condensado, luego de esto ocurra se comienza a tomar cortes de destilado manteniendo una razón de reflujo preestablecida colocando los tiempos de START y STOP en el computador, para que posteriormente se comience a tomar muestras de los productos (destilado y fondo) cada cierto tiempo hasta cumplir con las especificaciones composición deseada, para que por último se pueda realizar la respectiva parada de la planta. (Electronica Veneta, 1998)

II.3. LabView

LabView fue creado en 1976 por la empresa National Instruments (NI) con el propósito de funcionar sobre máquinas Apple Macintosh (MAC) pero actualmente está disponible en los principales sistemas operativos utilizados en el mundo, como es Windows y Linux, entre otros. Según la National Instruments LabView “es un revolucionario entorno de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medida y presentaciones de datos. LabView le da la flexibilidad de un potente ambiente de programación, pero mucho más sencillo que los entornos tradicionales”.

El software LabView tiene funciones específicas para acelerar el desarrollo de aplicaciones de medida, control y automatización, nos proporciona herramientas poderosas para que el usuario pueda crear aplicaciones sin líneas de código (lenguaje G) y nos permite colocar objetos ya contruidos para lograr crear interfaces de usuario rápidamente, ya que el usuario especifica las funciones del sistema construyendo diagramas de bloques. Este software también se puede conectar con todo tipo de hardware incluyendo tarjetas insertables, controladores de movimiento y controladores lógicos programables (PLCs). Además como las necesidades de las aplicaciones van cambiando con el tiempo, los sistemas definidos y creados por el usuario de LabView tienen la movilidad y la flexibilidad necesaria para adecuarse sin la necesidad de incorporar equipos nuevos(Gonzalez & Pradines, 2007).

II.3.1. Usos Principales de LabView

LabView se utiliza en tareas como:

- Adquisición de datos

- Control de instrumentos
- Automatización industrial
- Diseño de control

II.3.2. Características principales de LabView

LabView posee dos características principales como lo es:

- Facilidad de manejo para las siguientes interfaces de comunicación: Puerto serie, Puerto paralelo, GPIB, USB, PXI, VXI, TCP/IP, UDP, Bluetooth, OPC.
- Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones, tales como:
 - DLL (librerías de funciones), .NET, ActiveX, MultiSim, Matlab/Simulink, AutoCAD, SolidWorks, etc.
 - Herramientas gráficas y textuales para el procesamiento digital de señales.
 - Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.
 - Adquisición y tratamiento de imágenes.
 - Control de movimiento (combinado incluso con todo lo anterior).
 - Tiempo Real estrictamente hablando.
 - Programación de FPGAs para control o validación.
 - Sincronización entre dispositivos.

II.3.3. Hardware de Adquisición de Datos (DAQ)

La adquisición de datos es el proceso de obtener o generar información de manera automatizada desde recursos de medidas analógicas y digitales como sensores y dispositivos bajo prueba. Utiliza una combinación de hardware y software basados en PC para brindar un sistema de medida flexible y definido por el usuario (Gonzalez & Pradines, 2007).

Es por lo anterior que los dispositivos DAQ son instrumentos, ideales para una gran variedad de aplicaciones, desde registros de datos simples hasta sistemas integrados, ya que han sido diseñados con el propósito general de medir señales de voltaje.

National Instruments en el año 2006 se expandió al adquirir a Measurement Computing que es una empresa que desarrolla tarjetas de adquisición de datos de bajo coste para interfaces ISA, PCI y USB para computadoras personales. De este modo, como NI es una empresa que desarrolla tecnología en instrumentación virtual, el software NI LabView ya funciona con los productos de esta compañía con sus respectivos Drivers.

II.3.3. Análisis del software LabView

Debido a su gran importancia LabView, en esta sección se darán a conocer y explicar de manera sencilla el software y su lenguaje.

Instrumentos Virtuales (VI)

Los programas creados con LabView son usualmente denominados VI (Virtual Instruments) por la sencilla razón de que estos parecen y actúan como una copia de los instrumentos físicos, como por ejemplo, osciloscopios e instrumentos de medición (Gonzalez & Pradines, 2007).

Sub rutina (SubVI)

Dentro de la programación de LabView existe una utilización de los VI bastante interesante de conocer, que facilita el desarrollo de aplicaciones. Cuando uno finaliza y guarda un archivo con extensión .vi, éste puede ser llamado en el diagrama de bloques desde otro VI. Esto se conoce como *SubVI* que corresponde a una subrutina como en los demás lenguajes tradicionales. Para usar un VI como SubVI, se requiere construir un panel de

conectores. Este panel, determina las entradas y salidas de los controles e indicadores.

Para construir un panel de conectores, se debe hacer clic con el botón derecho del mouse al icono en la parte superior izquierda del panel frontal y escoger la opción *Show Connector* y el icono cambiará estéticamente como lo muestra la Figura N° 3.

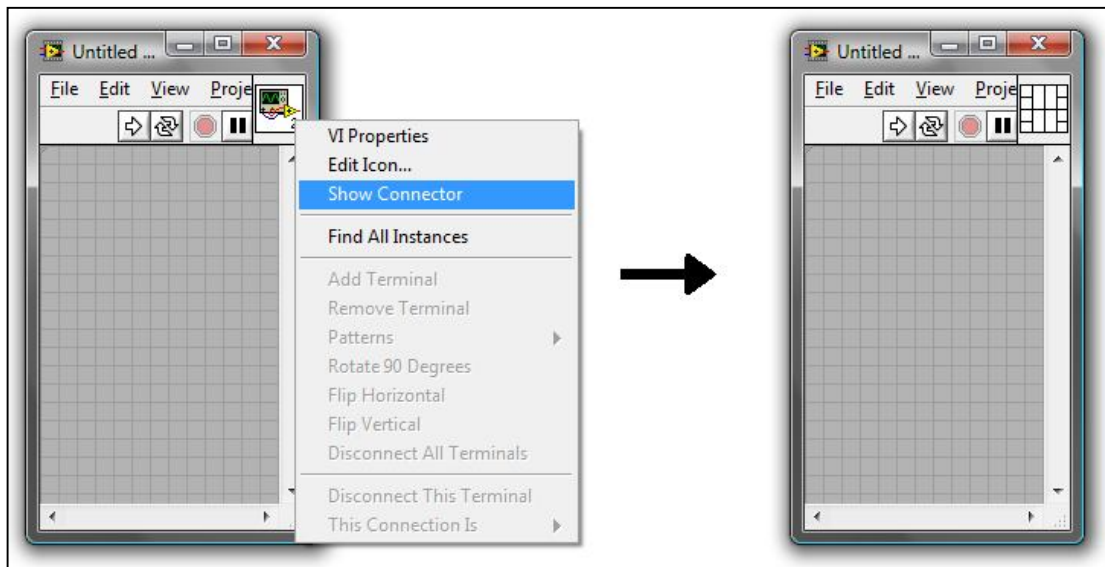


Figura N° 3: Pasos para mostrar el icono de Show Connector.

Cada pequeño cuadrado o rectángulo representa un terminal (salida o entrada) siendo 28 el número máximo de terminales posibles de añadir. Para asignar un control a uno de los terminales, se hace clic sobre el terminal que se desea configurar, el puntero cambia a la forma de un carrito teniendo el terminal seleccionado un color negro, luego se hace clic sobre el control que se desea asignar y el color del terminal cambiará de color dependiendo del tipo de dato asignado.

Ventanas de LabView

El software LabView se caracteriza por tener 2 ventanas que se abren automáticamente al iniciar un documento en blanco (Blank VI). Una de las ventanas contiene al Panel Frontal y la otra al Diagrama de bloque (Figura N° 4).

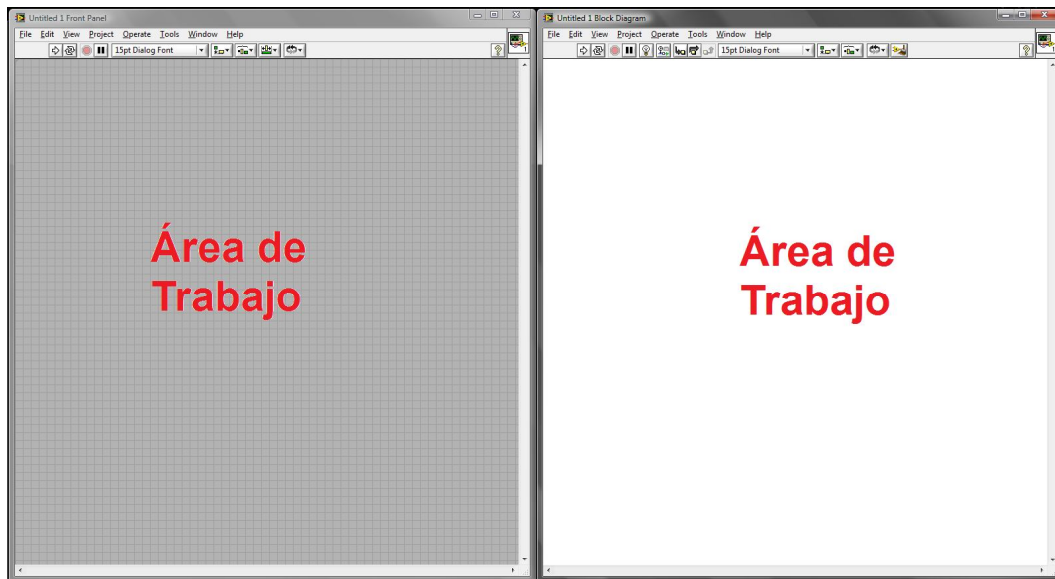


Figura N° 4: Panel frontal y Diagrama de Bloques del entorno LabView.

Panel Frontal (Front Panel)

El Panel Frontal (Front Panel) es la pantalla gris de la Figura N° 4 y se utiliza como interface de usuario donde los datos son manipulados, controlados y monitoreados. Se construye a partir de controles (entradas) e indicadores (salidas).

Diagrama de Bloque (Block diagram)

Diagrama de Bloque (Block diagram) es la ventana blanca de la Figura N° 4 y es donde está contenido el código gráfico G que define la

Paleta de Funciones (Palette Functions)

La paleta de funciones (Palette Functions) (ver Figura N° 5) se encuentra habilitada solamente en el Diagrama de Bloque y contiene las librerías de LabView (funciones y estructuras) necesarias para la realización del programa.

Paleta de Herramientas (Palette Tools)

La paleta de herramientas (Palette Tools) (ver Figura N° 5) está habilitada en el panel frontal y en el diagrama de bloques y es necesaria para trabajar o modificar los objetos. Esta paleta se caracteriza por tener herramienta que cambian el modo especial del cursor (mouse).

Tipos de Datos de LabView

Existen 3 clases de datos en LabView y dependiendo la aplicación, se utilizan estos datos en el diagrama de bloques existiendo un color para cada uno (Booleanos: verde claro, Numéricos: azules-naranjos y los Alfanuméricos: rosados).

Datos Booleanos (Boolean)

El booleano es un tipo de dato que está definido por enteros de 16 bits. El bit 15 es el más significativo y contiene al valor booleano. Si el bit 15 se pone a 1, el valor del control o indicador es *true* (verdadero) y si se pone a 0, toma el valor *false* (falso) (Gonzalez & Pradines, 2007). Al dar un clic con el botón derecho del mouse sobre el área de trabajo del panel frontal, aparecerá la paleta de controles (ver Figura N° 5) donde se puede hallar los diferentes controles e indicadores booleanos que posee LabView.

Datos Numéricos (Numeric)

Los datos numéricos se clasifican en 12 representaciones para los controles e indicadores, señalados por su respectivo color:

- a. Números de tipo entero (**I**, **Integer**) de 8, 16 y 32 bits
- b. Números de tipo sin signo (**U**, **Unsigned**) de 8, 16 y 32 bits.
- c. Números de punto flotante 32 (**SGL**), 64 (**DBL**) y 80 (**EXT**) bits
- d. Números de tipo complejos simples (**CSG**), dobles (**CDB**) y extendidos (**CXT**).

El tipo de número se aprecia en la terminal de conexión de los controles o indicadores (I, U, SGL, DBL, EXT, CSG y CDB) y el color de las conexiones son representadas por naranja (para los números de punto flotante y complejos) y azul (para números de tipo enteros y sin signo).

Datos Alfanuméricos (Strings)

Los datos alfanuméricos son datos tipo texto que son almacenados por LabView como si fueran un arreglo (array) uni-dimensional de bytes enteros (caracteres de 8 bits)(Gonzalez & Pradines, 2007).

Controles e Indicadores (Controls and Indicators)

Controles (Controls)

Son instrumentos que simulan la entrada y entregan los respectivos datos al diagrama de bloques del VI(Gonzalez & Pradines, 2007). En la Figura N° 6 se muestran algunos controles más comunes de LabView.

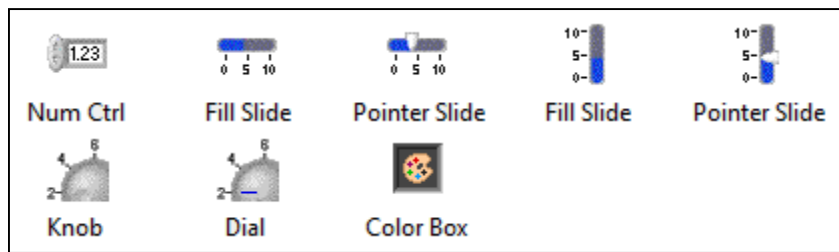


Figura N° 6: Controles de LabView.

Indicadores (Indicators)

Son instrumentos que simulan la salida y muestran los datos que el diagrama de bloques genera o adquiere (Gonzalez & Pradines, 2007). En la Figura N° 7 se muestran algunos de los indicadores más comunes de LabView.

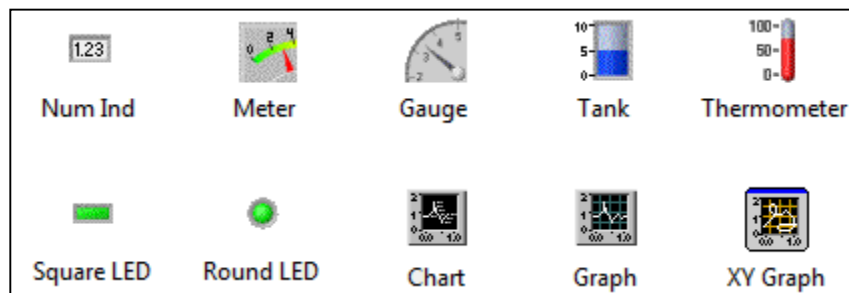


Figura N° 7: Indicadores de LabView.

De la Figura N° 7 se destaca un indicador tipo **Waveform charts (gráfico)** el cual tiene como función desplegar datos de una forma gráfica. Este tipo de grafico se caracteriza por añadir nuevos puntos de referencias sin desechar los puntos trazados con anterioridad creando de esta forma una especie de historial. Este tipo de indicador se puede modificar accediendo a opciones de su menú contextual.

Estructuras de Control (Structures)

A la hora de programar, muchas veces es necesario ejecutar un mismo conjunto de sentencias con un número determinado de veces, o que éstas se repitan mientras se cumplan ciertas condiciones. Es por esto que LabView dispone principalmente de cinco estructuras fácilmente diferenciables por su apariencia y disponibles en la opción Structures de la paleta de funciones del diagrama de bloque. Estas estructuras van ejecutando automáticamente lo que está programado en su interior.

En resumen, estas estructuras son representaciones gráficas de los lenguajes basados en programación textual (ver Figura N° 8).

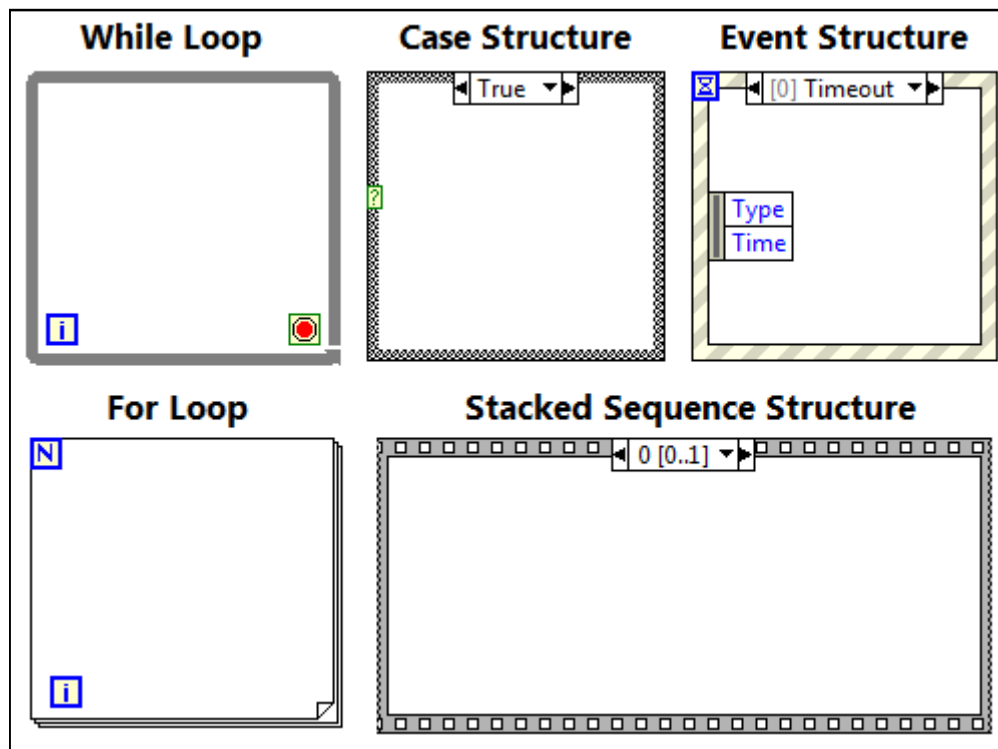


Figura N° 8: Estructuras (while loop, case structure, event structure, for loop y stacked sequence structure) de LabView.

Antes de dar a conocer las principales estructuras de control que posee LabView, es necesario saber que los **sub-diagrama** son un conjunto de terminales, nodos y líneas de unión que se localizan en el interior de las estructuras de control.

For Loop (Ciclo For)

Es una operación que ejecuta un sub-diagrama un número finito de veces y es equivalente a lo que se programa en lenguaje tradicional como “**For i = 0 to N-1**”. Esta estructura (ver Figura N° 8) contiene dos terminales, uno contador (N) donde n es el valor por cable a la cuenta (N) del terminal, y el otro de iteración (i), que es el que proporciona el recuento del lazo de iteración actual, que oscila entre 0 y n-1. Con esta estructura se pueden emplear los Shift Register para tener disponibles los datos obtenidos en iteraciones anteriores.

While Loop (Ciclo While)

Es una operación que ejecuta un sub diagrama hasta que la terminal condicional recibe un valor lógico específico y es equivalente a lo que se programa en lenguaje tradicional como “**Do (sub-diagrama) While (Condición)**”. Esta estructura (ver Figura N° 8) contiene dos terminales, uno condicional (representado por un botón rojo) y otro de iteración (i). El condicional hace que LabView compruebe el estado de este terminal al final de cada iteración, si el valor de este terminal es falso continúa repitiéndose el ciclo, hasta que el valor sea verdadero. El terminal de iteración indica el número de veces que se repite el lazo. Con esta estructura también se pueden emplear los Shift Register.

Case Structure (Estructura de Caso)

El case structure es equivalente a lo que se programa en lenguaje tradicional como **"If (condición es verdadera) then (ejecutar el sub-diagrama verdadero) Else (ejecutar el sub-diagrama falso)"**. Esto quiere decir, que su contenido (en el interior de la estructura) se ejecuta dependiendo del valor que se le conecta al selector (recuadro verde con el signo "?") (Ver Figura N° 8), por ende, posee como mínimo dos sub diagramas, el verdadero (True) y el falso (False) pudiéndose alambra valores enteros lógicos, de cadena o enumerados. Esta estructura se caracteriza por permitir los sub diagramas o casos pueden irse añadiendo uno tras otro, pudiéndose ver sólo uno en el diagrama de bloques.

Stacked Sequence Structure (Estructura de Secuencia)

Trabaja similar al Case Structure, es decir, sólo se puede visualizar un sub-diagrama o cuadro a la vez en el diagrama de bloques. Esta estructura se caracteriza por tener un identificador de sub-diagrama en la parte superior con botones cuya función es avanzar o retroceder (ver Figura N° 8). Sin embargo, como su nombre lo indica, esta estructura se ejecuta de forma secuencial, es decir, que primero ejecuta la hoja número "0", luego la número "1" y así sucesivamente. Es importante mencionar que esta estructura no devuelve ningún dato hasta que se ejecuta el último cuadro.

Event Structure (Estructura de Evento)

Este tipo de estructuras (ver Figura N° 8) presenta varios sub diagramas, los cuales se ejecutan exactamente cuando la estructura se ejecuta (Gonzalez & Pradines, 2007). La estructura de evento espera hasta que sucede algún evento.

Array and Cluster

Arrays (Arreglo)

Los Arreglos o *Arrays* son un grupo de elementos del mismo tipo de datos (numéricos, booleanos, alfanuméricos). Los arreglos están conformados por elementos (datos que conforman el arreglo) y dimensiones (longitud, altura o profundidad del arreglo). Los arreglos se pueden crear casi de cualquier tipo de datos, con las siguientes excepciones:

- No se pueden crear arreglos de arreglos. Independientemente, se pueden utilizar un arreglo multidimensional o usar la función *Build Cluster Array* para crear un arreglo de cluster donde cada cluster contiene uno o más arreglos.
- No se puede crear un arreglo de gráficos, porque un gráfico es un tipo de datos del arreglo y un arreglo no puede contener otro arreglo. Sin embargo, se puede tener un arreglo de gráficos si el gráfico está dentro de un cluster.

Cluster (grupo)

Los clusters agrupan diferentes tipos de elementos o datos, como un bulto de alambres, es decir, como en un cable del teléfono dónde cada alambre en el cable representa un elemento diferente del cluster. La agrupación de los datos en los clusters elimina el desorden de los alambres en el diagrama de bloques y reducen el número de conectores o terminales que un SubVI necesita.(Gonzalez & Pradines, 2007).

Variables Locales y Globales

En LabView se pueden leer o escribir datos en el panel frontal utilizando terminales en el diagrama de bloques. Sin embargo, un objeto en el panel frontal tiene sólo un terminal en el diagrama de bloques y su aplicación podría necesitar acceder a los datos del terminal en más de una vez. Es por esta razón que se implementaron las variables locales y globales.

Variable Local

Esta variable es utilizada cuando se pretende acceder a objetos del panel frontal en más de un lugar dentro del mismo VI y pasar la información (datos) entre las estructuras de bloque donde no se puede o es difícil la conexión mediante cables. Trabajando con una variable local, se puede leer o escribir desde un indicador o control en el panel frontal (Gonzalez & Pradines, 2007).

Variable Global

Esta variable es utilizada cuando se pretende acceder y pasar datos entre varios VI que se ejecutan al mismo tiempo. Es importante mencionar al crear una variable global en LabView, automáticamente este crea un VI especial, el cual contiene un panel frontal pero no un diagrama de bloques, es decir, el panel frontal es un contenedor de varios VIs que pueden acceder datos.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo la realización de este proyecto y cumplir con el objetivo de monitoreo y control de una unidad de destilación continua (UDCA) se planteará seguir la metodología como se muestra en la Figura N° 9.

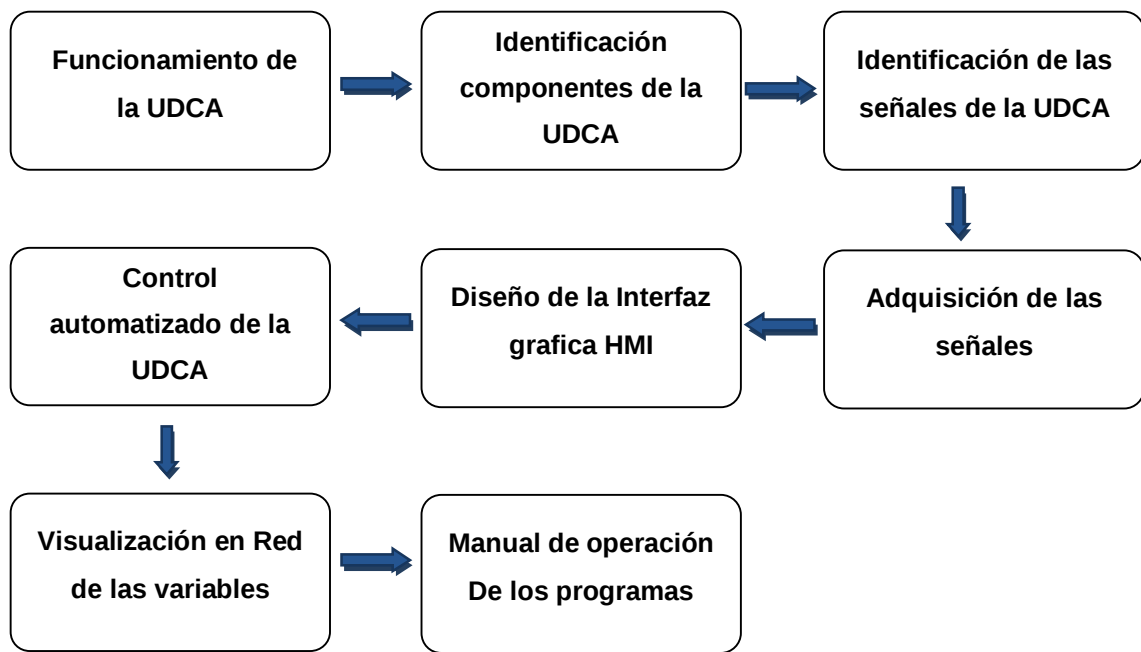


Figura N° 9: Representación esquemática de la metodología a emplear.

III.1. Funcionamiento de la unidad de destilación continua.

En esta etapa se estudió el funcionamiento de la unidad de destilación continua cuando opera en versión manual y automatizada, para esto se consultó el manual de la unidad de destilación continua (Electronica Veneta, 1998) con el fin de realizar una descripción del procedimiento que se debe efectuar para operar la columna en estas dos versiones, siendo esto utilizado para determinar las ventajas y desventajas de trabajar el equipo de forma automatizada.

III.2. Identificación de los componentes de la unidad de destilación continua.

En esta etapa se identificaron los componentes (eléctricos, electrónicos, y de proceso) revisando tanto el equipo como el manual del mismo (Electronica Veneta, 1998), con el fin de realizar las tablas y figuras comparativas que describieron el funcionamiento de cada uno de estos componentes que se encontraban en la UDCA, antes y después de que se realizaron las modificaciones necesarias para que lograra trabajar de forma automatizada.

III.3. Identificación de las señales de la UDCA

En esta etapa del trabajo se identificaron y se incorporaron dos tipos de señales (analógicas y digitales) en la unidad de destilación continua con el fin de crear un registro que recolectara toda la información necesaria, y así establecer los rangos de cada variable definiendo las curvas de conversión de las señales eléctricas a unidades de ingeniería.

Estos tipos de señales se pudieron clasificar de la siguiente forma:

Señales Analógicas

- Temperaturas de la columna.
- Flujo de agua de enfriamiento
- Presión de vacío de la columna.
- Presión diferencial de la columna.
- Presión de las válvulas neumáticas.

Señales Digitales

- Pulsos enviados a la bomba dosificadora.
- Señal para colocar en marcha la bomba de vacío.
- Señal digital para el control de la resistencia eléctrica.
- Señal para colocar en funcionamiento la electroválvula.

III.4. Adquisición de las señales de la unidad de destilación continua

En esta etapa se instaló un dispositivo electrónico el cual se conecta a un computador permitiendo la visualización de las señales de los sensores de temperatura, presión y flujo de la columna de destilación continua. Para cumplir con lo mencionado anteriormente se realizaron los siguientes pasos:

- III.4.1.** Instalación de la tarjeta NI USB-6009 en la unidad de destilación continua. en este paso se conectaron las señales de temperatura, flujo y presión a la tarjeta permitiendo digitalizar las señales para ser procesadas en una computadora.
- III.4.2.** Conectar la tarjeta al computador: en este paso por medio de un cable USB se conectó la tarjeta a un puerto de la computadora.

III.4.3. Programa de adquisición de Señales: se creó un programa que permitiera la lectura de las señales de voltajes provenientes de la tarjeta al computador, Además en este programa se realizó la conversión pertinente de las señales de voltaje a señales de ingeniería.

III.5. Diseño de la interfaz grafica HMI.

En este punto se diseñó la interfaz grafica HMI (Interfaz Hombre-Máquina) mediante el software LabView, el cual posee una la ventana llamada panel frontal (Front Panel), donde se agregaron figuras, botones, etc. con el fin de que el diseño fuera amigable para cualquier persona que utilice el programa. Además de lo mencionado anteriormente también se agregaron en el panel Fontal recuadros donde se observan las variables de temperaturas, presión y caudal, así como también se pueden visualizar gráficas que representan el cambio de las variables en función del tiempo.

III.6. Control automatizado de la unidad de destilación continua.

En esta etapa se identificaron y se instalaron los lazos de control, utilizando la metodología que se muestra a continuación:

III.6.1. Primero se identificaron los lazos de control que la unidad de destilación continua traía originalmente, esto se realizó estudiando el manual de operación del equipo(Electtronica Veneta, 1998). Y también se estudio la posibilidad de integrar otros lazos de control, de los cuales se incorporó el lazo de control de la temperatura del tercer plato de la columna.

III.6.2. Luego se debe realizó las conexiones necesarias para que la tarjeta NI USB-6009 envíe las señales hacia los diferentes elementos finales de control como las válvulas neumáticas de flujo de agua de

enfriamiento y presión de vacío, así como también la resistencia eléctrica que suministra el calor en el rehervidor..

III.6.3. Por último se realizó la puesta en marcha del equipo, entonando los diferentes controladores PID elaborados en LabView, los cuales permitieron controlar las variables de la planta.

III.7. Visualización en red de las variables de la planta.

En este punto se agregó al programa un modulo que permite la publicación de las diferentes variables (temperatura, presión y caudal) a distintos computadores. Para esto se utilizó como vía de comunicación un protocolo de internet llamado User Datagram Protocol (UDP), el cual permite el envío de paquetes de datos a través de la red.

Además se realizó un programa en el software LabView que permite la lectura de los datos publicados en la red con el protocolo UDP. También se le diseñará al programa su respectiva interfaz grafica HMI para que de igual forma como en el programa anterior sea amigable para toda persona que utilice el programa.

III.8. Manual de operación.

A pesar de que los programas desarrollados son de fácil manejo, como etapa final en el presente Trabajo Especial de Grado, se elaboró un manual básico de operación para cada programa desarrollado, que servirá como guía para el entendimiento y la aplicación de los mismos. En líneas generales, cada manual básico de operación contiene una descripción del ambiente de trabajo, así como también de las utilidades y funciones de cada programa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos a lo largo del proyecto, siguiendo la secuencia de la metodología planteada.

IV.1. Funcionamiento De La Unidad De Destilación Continua

A continuación se muestra la Tabla N° 1 donde se establecen las ventajas y desventajas que posee la unidad de destilación continua cuando opera de forma automática.

Tabla N° 1: Ventajas y desventajas al operar la UDCA en modo automático.

Ventajas	Desventajas
1. Evitar los errores humanos que se presentan al manipular el equipo de forma manual 2. El operador no debe dirigirse hasta el panel del equipo para activar y desactivar instrumentos, tales como la bomba de vacío, la electroválvula y la resistencia eléctrica. 3. El operador no tiene que dirigirse a todo momento a la bomba dosificadora para colocarla en funcionamiento (arrancar y parar). 4. El operador no debe preocuparse por recolectar los valores de las variables cada cierto tiempo, ya que estos se guardan automáticamente en el computador. 5. El operador puede visualizar de manera gráfica el comportamiento de las variables en tiempo real. 6. El operador cuenta con un sistema de control que permite mantener fijo el valor de la variable de interés. 7. El operador cuenta con un sistema de alarma, con el fin de evitar prevenir que ciertas variables lleguen a valores indeseados.	

Como se puede observar en la Tabla N° 1, operar la UDCA de forma automática presenta únicamente ventajas en donde generalmente las ventajas permiten que el operador no realice un gran esfuerzo mecánico, siendo esto una de las razones de peso para que la tecnología industrial avance significativamente. Con respecto a las desventajas no se presentó ninguna en la Tabla N° 1 porque no se encontró ninguna razón que representara una limitación al operar la UDCA de esta forma.

IV.2. Componentes De La Unidad De Destilación Continua

Seguidamente se muestran tablas y figuras de los componentes de la UDCA con el fin de describir dichos componentes antes y después de realizar las modificaciones necesarias para que el equipo trabajara de forma automatizada.

IV.2.1. Componentes de proceso de la UDCA

Los componentes de proceso son todos aquellos elementos necesarios para poder destilar una mezcla. (McCabe, 1991)

En la tabla que se muestra a continuación se describen los componentes de proceso de la unidad de destilación continua, describiendo brevemente su funcionamiento, así como también cualquier aspecto importante sobre cada uno de estos.

Tabla N° 2: Descripción de los componentes de proceso de la UDCA.

Componentes	Descripción
Caldera de cola	Está hecha de vidrio borosilicato, tiene una capacidad de 3 litros y se caracteriza por ser el recipiente donde se calienta la mezcla a destilar. (Ver Apéndice A. 1).
Resistencia eléctrica (J1)	Tiene un revestimiento en cuarzo, se encuentra ubicada en el interior de la caldera y su potencia máxima es de 1600 watts. (Ver Apéndice A. 2)
Columna de Destilación (C1)	Está hecha de vidrio borosilicato, con 7 platos de campana en donde se efectúa la transferencia de masa de las 2 fases “vapor-líquido”. (Ver Apéndice A. 3)
Condensador de Cabeza (E1)	Está hecho de vidrio borosilicato y tiene como función principal condensar de forma total los vapores que suben a lo largo de la columna (Ver Apéndice A. 4)
Electroválvula de regulación de reflujo (EV1)	Este componente se encuentra ubicado en el extremo superior derecho de la columna, a la altura del condensador de tope y permite que el vapor condensado sea recolectado como producto destilado y otra parte retorne a la columna. (Ver Apéndice A. 5)
Depósito de Alimentación (D1)	Está hecho de vidrio borosilicato, tiene una capacidad de 5 litros y se caracteriza por ser el recipiente donde se almacena la mezcla a destilar. (Ver Apéndice A. 6)
Depósito de Destilado (D2)	Está hecho de vidrio borosilicato, tiene una capacidad de 2 litros y se caracteriza por ser el recipiente donde se recoge el producto destilado (Ver Apéndice A. 7)
Depósito de Residuo (D3)	Está hecho de vidrio borosilicato, tiene una capacidad de 3 litros y se caracteriza por ser el recipiente donde se recoge el producto de fondo o residuo (Ver Apéndice A. 8)
Intercambiadores de calor (E2, E3 y E4)	Está hecha de acero inoxidable AISI 304, son de tipo doble tubo y se encargan de aumentar o disminuir la temperatura del líquido de interés. (Ver Apéndice A. 9)

Tabla N° 2: Continuación.

Componentes	Descripción
Bomba de Alimentación (G1)	Es de cabezal de teflón, trabaja con un caudal regulable de 0-8,5 litros por hora y tiene 3 modos de operación (manual, analógica y digital) (Ver Apéndice A. 10). Esta bomba se caracteriza por ser de desplazamiento positivo, donde un pistón desplaza el fluido incrementándole energía al mismo.
Bomba de Vacío (G2)	Constituida por paletas rotatorias lubricadas por aceite, trabaja a un caudal de 4 metros cúbicos por hora, y se caracteriza por ser el instrumento utilizado para operar la columna a presiones menores a la atmosférica (Ver Apéndice A. 11)
Separador de Gotas (S1)	Esta hecho de en acero inoxidable AISI 304, y se caracteriza por ser el recipiente donde condensan los vapor proveniente de la columna con el fin de evitar daños en la bomba de vacío. (Ver Apéndice A. 12)
Válvulas y líneas de conexión	Están hechas de acero inoxidable AISI 316, el equipo está constituido por 18 válvulas que se caracterizan por ser de ¼", de paso rápido. (Ver Apéndice A. 13)
Vacuómetro	Esta hecho de acero inoxidable AISI 304, y se caracteriza por medir con gran precisión presiones menores al atmosférica, trabaja entre un rango de 0-1 bar (Ver Apéndice A. 14)
Válvulas Neumáticas (VCF y VCP)	Son de acero inoxidable AISI 316, se caracterizan por ser válvulas de aire para abrir (ATO), por tener un diámetro nominal de ¼" y por tener un coeficiente de flujo CV= 0,32 (Ver Apéndice A. 15)

De la Tabla N° 2 es importante destacar la bomba de alimentación, ya que ésta se caracteriza por trabajar de forma intermitente y razón por la cual se realizó una grafica de interpolación, con el fin de conocer el flujo volumétrico máximo que ingresa a la columna a partir de la frecuencia de bombeo (Ver Figura N° 10).

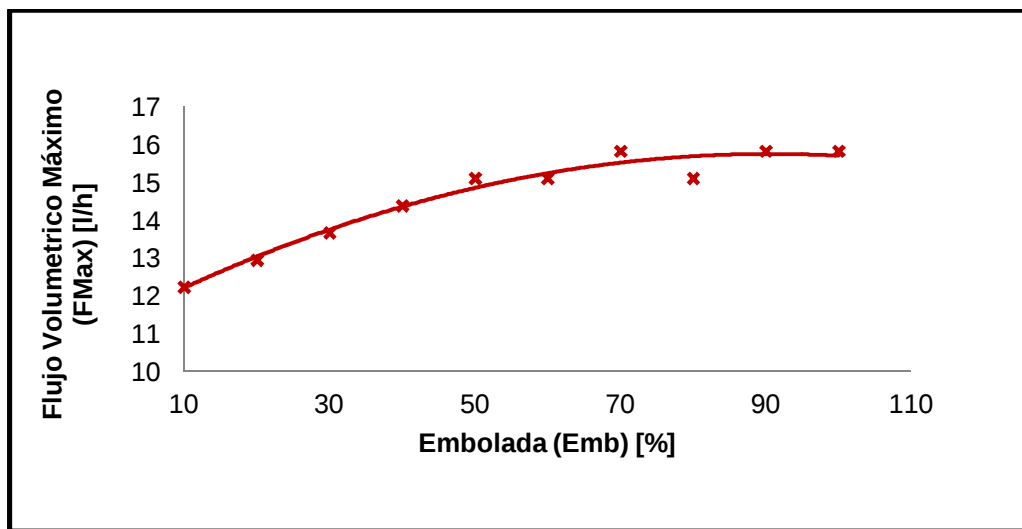


Figura N° 10: Gráfica de Flujo máximo en función de la embolada de la bomba de alimentación de la UDCA.

No obstante se puede observar en la grafica anterior (Figura N° 10) que el flujo volumétrico máximo para emboladas desde 60-100 no se comporta de manera lineal como para las emboladas de 10-50, lo cual nos indica que la bomba puede presentar algún tipo de deterioro debido a la falta de mantenimiento que presenta este equipo.

IV.2.2. Componentes Eléctricos y electrónicos de la UDCA

Los componentes eléctricos y electrónicos son todos aquellos elementos que utilizan energía eléctrica para su funcionamiento. (Coughlin & Driscoll, 1993)

En la tabla que se muestra a continuación se describen los componentes eléctricos y electrónicos originales de la unidad de destilación continua, describiendo brevemente su funcionamiento, así como también cualquier aspecto importante sobre cada uno de estos.

Tabla N° 3: Descripción de los componentes eléctricos electrónicos originales de la UDCA.

Componentes	Descripción
Indicadores Electrónicos De Temperatura	Son 6 indicadores que se encuentran en el panel del equipo, permitiendo la visualización de las temperaturas a lo largo de la columna y trabajan en un rango 0-199°C (Ver Apéndice A. 16)
Temporizadores Para La Regulación Del Reflujo	Son 2 temporizadores que se encargan de contar el tiempo en que la electroválvula de regulación de reflujo se encuentra encendida y apagada (Ver Apéndice A. 17)
Eurotherm 425A	Es una unidad de Thyristor de 15A que se encarga de regular la potencia de la resistencia eléctrica de la caldera (Ver Apéndice A. 18)
Medidor Electrónico De Caudal (FI1)	Es un medidor de área variable, hecho en acero inoxidable AISI 304, trabaja en un rango de 20-250l/h y envía una señal de salida de 4-20mA (Ver Apéndice A. 19). Este elemento se caracteriza por tener un funcionamiento que se basa en el cambio de posición de un flotador dentro de un tubo siendo esto proporcional al flujo del fluido(Creus, 2001).
Transmisor Electrónico De Presión Residual (PT1)	Es un transmisor que trabaja en un rango de 1000-0 mbar y envía una señal de salida de 4-20mA (Ver Apéndice A. 20). Este elemento se caracteriza por tener un funcionamiento basado en elementos mecánicos primarios de medida directa, los cuales comparan la presión con la presión ejercida por un liquido de densidad y altura conocida(Creus, 2001).
Transmisor Electrónico De Presión Diferencial (PdI1)	Este transmisor trabaja en un rango de 0-100 mmH ₂ O y envía una señal de salida de 4-20mA (Ver Apéndice A. 21). Y se caracteriza por tener el mismo funcionamiento del medidor electrónico de presión residual.
Indicador Electrónico De Presión Diferencial	Es un indicador que se encuentra en el panel del equipo, permitiendo la visualización de la presión diferencial de la columna y trabajan en un rango 0-100 mmH ₂ O (Ver Apéndice A. 22)
Convertidores Electroneumáticos	Llamados convertidores tensión presión y se encargan de enviar la señal de presión a las válvulas neumáticas de flujo y presión, trabajan rango de 4-20 mA y envían una señal de salida de 0,2-1 bar.

Tabla N° 3: Continuación.

Componentes	Descripción
Termorresistencias	Son 6 sensores de temperaturas Pt 100 dobles, cubiertas de acero inoxidable AISI 316 y trabajan según el principio de que a medida que varia la temperatura del material sensor la resistencia de este material cambia(Frohn, Oberthur, Siedler, Wiemer, & Zastrow, 1997), es por esto que las termorresistencias se caracterizan por enviar una señal de resistencia en ohm (Ω) (Ver Apéndice A. 23).
Tarjetas Electrónicas ADE023A	Son 6 tarjetas electrónicas que se encargan de transformar la señal proveniente de las termorresistencias (Ω) a una señal analógica más convencional (mA) (Ver Apéndice A. 24)
Tarjeta Electrónica RS485	Esta es una tarjeta serie RS485 PC-LabCart mod. PCL-743 proporcionada por el fabricante, la cual se inserta en la computadora y se utiliza para conectarse con el controlador "Digitric P" y transfiere los datos mediante un sistema digital denominado bus o canal.
Controlador Digitric P	Es un indicador-controlador de microprocesador, que posee 4 loops de regulación PID y trabaja con señales de entrada y salida de 4-20 mA (Ver Apéndice A. 25)
Tarjeta Electrónica (EV021)	Es una tarjeta creada por el fabricante, se conectaba a la computadora mediante un puerto paralelo de 25-PIN y se encargaba de realizar diversas funciones para el manejo automático del equipo. (Ver Apéndice A. 26)
Transformador (TC1)	Es un dispositivo eléctrico que permite disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna(Malvino, 2000), este dispositivo transforma de 127v a 12-0-12v (Ver Apéndice A. 27)
Fuentes De Alimentación (AMT13 Y AMT18)	Son 2 fuentes que se encargan de convertir el voltaje de corriente alterna (AC) a voltaje de corriente continua (DC)(Coughlin & Driscoll, 1993). Una de las fuentes es de 24v (AMT18) y otra de 5v (AMT13) y son utilizadas para proporcionar corriente a diferentes partes de panel de control. (Ver Apéndice A. 28)
Filtro Eléctrico	Se encuentra en la parte superior derecha del panel del equipo y discrimina una determinada frecuencia de una señal eléctrica que pasa a través de él(Coughlin & Driscoll, 1993). (Ver Apéndice A. 29)

Tabla N° 3: Continuación.

Componentes	Descripción
Relés (KA1-KA8)	En el panel se encuentran 8 relés que encargan de interrumpir o restablecer el paso de pequeñas corrientes (Maloney, 1983)
Contactores (KM1, KM2 Y KM3)	Existen 3 contactores electromecánico que se encargan de interrumpir o restablecer el paso de corriente de alta intensidad (Maloney, 1983) y se encuentran en la parte central del panel (Ver Apéndice A. 30)
Relés Térmicos (FR1 Y FR2)	Existen 2 de estos componentes que se encuentran en el panel de control y sirven de protección a elementos que se encuentran aguas abajo (resistencia eléctrica y bomba de vacío), ya que su funcionamiento se basa en la deformación de ciertos elementos bajo el efecto de la temperatura y cuando estos elementos alcanzan ciertos valores los contactos auxiliares desactivan todo el circuito (Malvino, 2000).
Fusibles (FU1-FU6)	Hay 6 de estos elementos que sirven de protección para diferentes componentes del equipo.
Diodo (⚡)	Este componente se encuentra en la parte central-derecha del cajetín de la UDCA y tiene como función proteger a la electroválvula, ya que permite el paso de corriente en un solo sentido (Maloney, 1983). (Ver Apéndice A. 32)

En la tabla que se muestra a continuación se describen los componentes Eléctrico y electrónicos nuevos de la unidad de destilación continua que fueron colocados para realizar el funcionamiento automático de la misma.

Tabla N° 4: Descripción de los componentes eléctricos-electrónicos nuevos de la UDCA.

Componentes	Descripción
Tarjeta NI USB-6009	Esta es una tarjeta que contiene 8 entradas analógicas para la adquisición de datos, 2 salidas analógicas para el control y 12 entradas o salidas digitales que funcionan para el control de diferentes componentes (resistencia eléctrica, la bomba de alimentación, etc.) (Ver Apéndice A. 33)
Tarjeta Electrónica (IA USB-6009)	Este componente es utilizado para transformar las señales de corriente (mA) a voltaje, debido a que la tarjeta de adquisición de datos (NI USB-6009) solo trabaja con señales de voltaje. (Ver Apéndice A. 34)
Tarjeta Electrónica (ID USB-6009)	Este elemento tiene las mismas funciones que la tarjeta EV021, sin embargo no se conecta directamente a la computadora mediante algún tipo de puerto, pero ella recibe la información que envía la tarjeta "NI USB-6009" a través de sus puertos digitales. (Ver Apéndice A. 35)
Relé De Estado Solido (SSR)	Es un elemento que se encuentra en la parte inferior derecha del panel y es un componente necesario para el control de la resistencia eléctrica. (Ver Apéndice A. 31)
Convertidor Tensión-Corriente (CTC1)	Este es un dispositivo que transforma la señal de salida analógica (Voltaje) proveniente de la tarjeta "NI USB-6009" a una señal de corriente (miliamperio), la cual es necesaria para hacer funcionar los convertidores neumáticos.

En la figura que se muestra a continuación representa la distribución de los componentes eléctricos-electrónicos antes y después de de las modificaciones necesarias para cumplir con los objetivos de este proyecto.

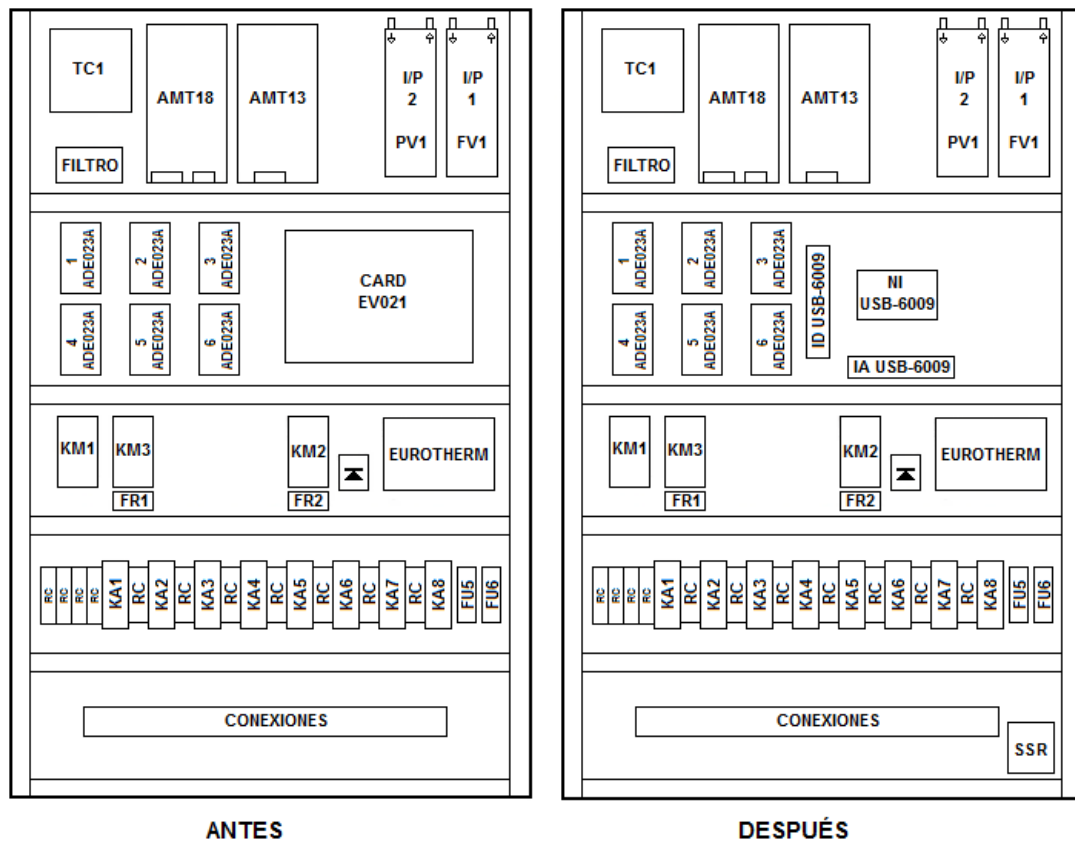


Figura N° 11: Cajetín de la UDCA antes y después de las modificaciones.

Es importante recalcar de la Figura N° 11, así como también de la Tabla N° 3 que existen dos componentes que ya no son utilizados. El primero de estos componentes fue la tarjeta electrónica EV021 que fue retirada del cajetín de la UDCA porque estaba obsoleta, esta tarjeta se conectaba a la computadora mediante un puerto paralelo, el cual ya no se encuentra disponible para las computadoras de esta generación, otra razón importante para eliminar la tarjeta EV021 fue aprovechar las señales tanto de entrada como de salida de la tarjeta de NI USB-6009, esto se debe a que la EV021

era utilizada como tarjeta de adquisición de datos ya que seleccionaba cada cierto tiempo una de las temperaturas de la columna para enviarla al controlador Digitric P, para ser remitida al computador y ser reportada posteriormente. También la EV021 era utilizada para activar y desactivar equipos (bomba de vacío, electroválvula, resistencia eléctrica y la bomba dosificadora) por medio de relés que funcionaban como interruptores, pero al ser eliminada esta tarjeta se instaló la tarjeta ID USB-6009, la cual cumple la misma función que la EV021 pero sin tener conexión directa con la computadora, ya que recibe la información mediante los puertos digitales de la tarjeta de NI USB-6009, siendo la tarjeta de NI USB-6009 la única que tiene conexión con la computadora mediante un puerto universal como lo es el USB (Universal Serial Bus).

Otro de los componentes que ya no son utilizados para la versión automática de la UDCA es el Eurotherm, esto se debe a que este aparato utilizaba una señal analógica proveniente del controlador para regular desde el computador la potencia de la resistencia eléctrica, pero al agregar un relé de estado sólido (SSR) se aprovechó una de las señales digitales de la tarjeta de NI USB-6009 para realizar la función de regular la potencia de la resistencia eléctrica, sin embargo no se desinstaló el Eurotherm ya que para la operación manual del equipo el Eurotherm es el que se encarga de regular la potencia de la resistencia eléctrica, ya que a él llega la información de la perilla de regulación de la potencia que se encuentra en el panel del equipo.

IV.3. Tipos Y Características De Las Señales De La UDCA

Seguidamente se muestran figuras que describen las señales importantes de la unidad de destilación continua organizadas principalmente por el tipo de cada una de ellas.

IV.3.1. Señales analógicas de la UDCA

En esta sección se identificaron las señales analógicas, las cuales son señales generadas por algún tipo de fenómeno electromagnético, representables por una función matemática continua que varia su amplitud y periodo en función del tiempo (Oppenheim & Willsky, 1998). Entre las señales analógicas de la UDCA tenemos: Temperatura, flujo, presión.

A continuación se presenta la figura que describe las señales de temperatura de la UDCA.

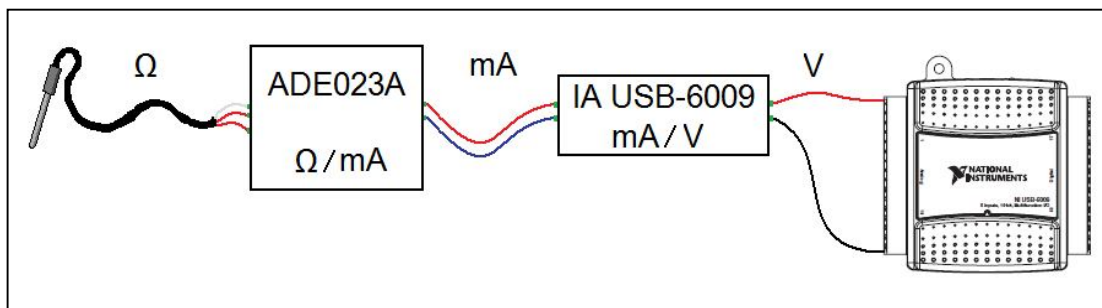


Figura N° 12: Señal de Temperatura de la UDCA

Se puede observar en la Figura N° 12 como se va convirtiendo la señal de temperatura desde que es tomada de la termorresistencia. Primero la termorresistencia envía una señal de resistencia en ohm (Ω) que es convertida por la tarjeta ADE023A en una señal de corriente (miliamperio=mA), que a su vez es transformada por la tarjeta IA USB-6009 a tensión eléctrica (Voltaje=V), ya que la tarjeta NI USB-6009 solo puede leer lecturas en voltaje.

Lo mencionado anteriormente se realizó para 5 de las 6 termorresistencias de la UDCA, las cuales miden las siguientes temperaturas:

- T1: Temperatura del fondo del rehervidor.
- T2: Temperatura del sexto plato.
- T3: Temperatura del tercer plato.
- T4: Temperatura de entrada al condensador de tope.
- T6: Temperatura de salida del agua de enfriamiento del condensador de tope.

La temperatura que se omitió fue la T5 (temperatura de entrada del agua de enfriamiento del condensador de tope), esto se realizó ya que la tarjeta NI USB-6009 solo tiene 8 entradas analógicas, y 3 de ellas son utilizadas para adquirir las señales de presión residual, presión diferencial y caudal de agua de enfriamiento. Además se decidió no adquirir esa señal de T5, porque la temperatura de esta agua se mantiene prácticamente constante y es parecida a la temperatura atmosférica.

A continuación se muestra la figura que describe la señal de flujo de agua de enfriamiento de la UDCA.

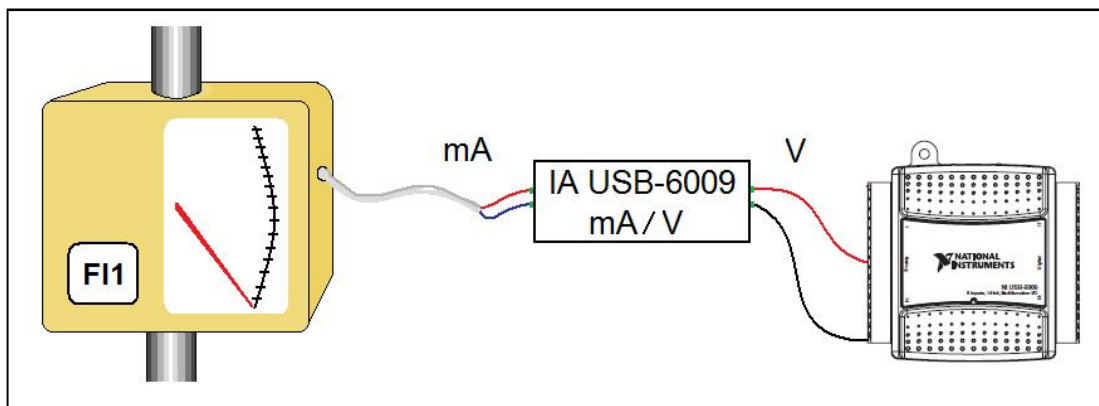


Figura N° 13: Señal de Flujo de Agua de Enfriamiento de la UDCA

Se puede observar en la Figura N° 13 como se convierte la señal del caudal de agua de enfriamiento, donde primero el agua pasa a través del

medidor electrónico de caudal, el cual basado en el principio de los rotámetros, midiendo la posición del flotador en el tubo y convirtiendo esta señal a una señal de corriente (miliamperio ó mA)(Creus, 2001). Luego la señal de corriente es convertida a tensión eléctrica (voltaje) mediante la tarjeta analógica (IA USB-6009), y envía esta señal de tensión la tarjeta NI USB-6009.

A continuación se presenta la figura que describe la señal de presión de vacío de la UDCA.

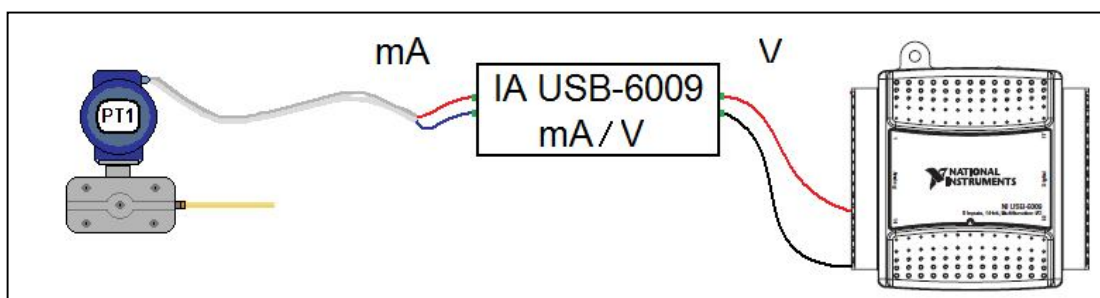


Figura N° 14: Señal de Presión de vacío de la UDCA

A continuación se muestra la figura que describe la señal de presión diferencial de la UDCA.

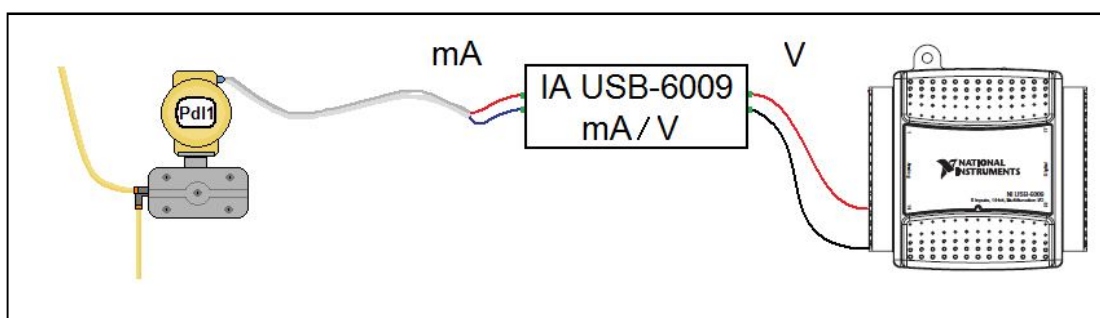


Figura N° 15: Señal de Presión Diferencial de la UDCA

Se puede observar en la Figura N° 14 y Figura N° 15 como se convierte las señales de la presión residual (presión de tope de la columna de destilación)

y la presión diferencial respectivamente. Primero los medidores (PT1 y Pdl1) leen la presión convirtiéndola en una señal de corriente (miliamperio ó mA), para luego ser transformarla en tensión eléctrica mediante la tarjeta analógica (IA USB-6009), para luego ser enviada a la tarjeta NI USB-6009.

La figura que se muestra a continuación describe la señal para las dos válvulas neumáticas de la UDCA.

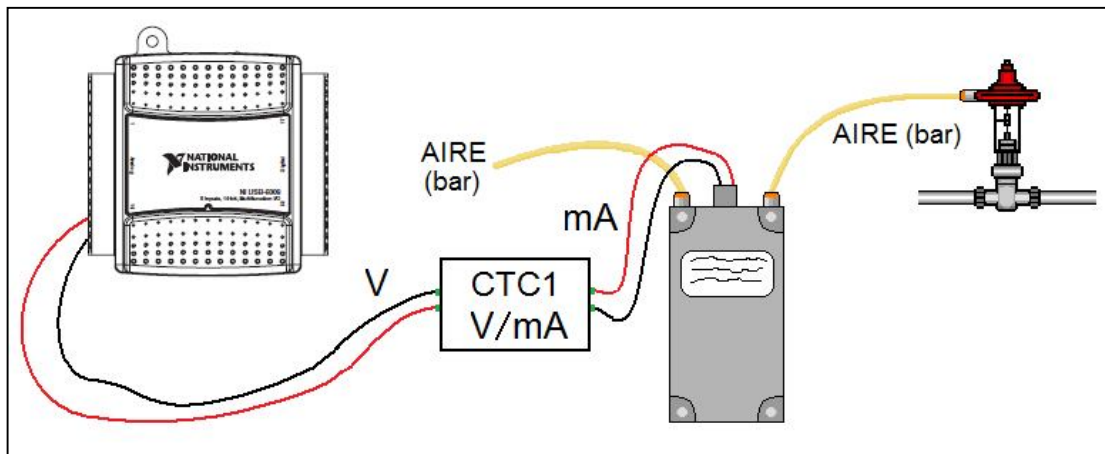


Figura N° 16: Señal de la Válvulas Neumáticas de la UDCA

En la Figura N° 16 se puede observar el recorrido de la señal necesaria para poder manejar las válvulas neumáticas de la UDCA. Primero la tarjeta de NI USB-6009, envía una señal de tensión eléctrica (Voltaje) utilizando los 2 puertos de salida para cada una de las válvulas, luego esta señal de tensión es convertida a corriente (miliamperio ó mA) por medio de la tarjeta electrónica de conversión tensión/corriente (CTC1), para luego ser procesada por los dos convertidores electropneumáticos, los cuales enviarán una señal de presión de aire (bar) a la válvulas neumáticas, haciendo que estas funcionen de tal manera que permitan el paso de los fluidos.

IV.3.2. Señales digitales de la UDCA

En esta sección se identificaron las señales digitales utilizadas en la versión automatizada de la UDCA, las cuales son enviadas por la tarjeta electrónica “NI USB-6009”, estas señales digitales son generadas por algún tipo de fenómeno electromagnético y se caracterizan por ser señales discretas, las cuales sólo están definidas en tiempos discretos y en consecuencia la variable independiente toma solamente un conjunto discreto de valores, también este tipo de señales se caracterizan por ser representados por dos niveles de tensión eléctrica, uno alto y otro bajo, simbolizados por un 1 y 0 respectivamente (Oppenheim & Willsky, 1998). Entre las señales digitales enviadas para activar o desactivar los equipos tenemos: para la bomba de alimentación, para la bomba de vacío, para la resistencia eléctrica y para la electroválvula.

A continuación se presenta la figura que describe la señal que es enviada a la bomba de alimentación de la UDCA (solo en versión automatizada).

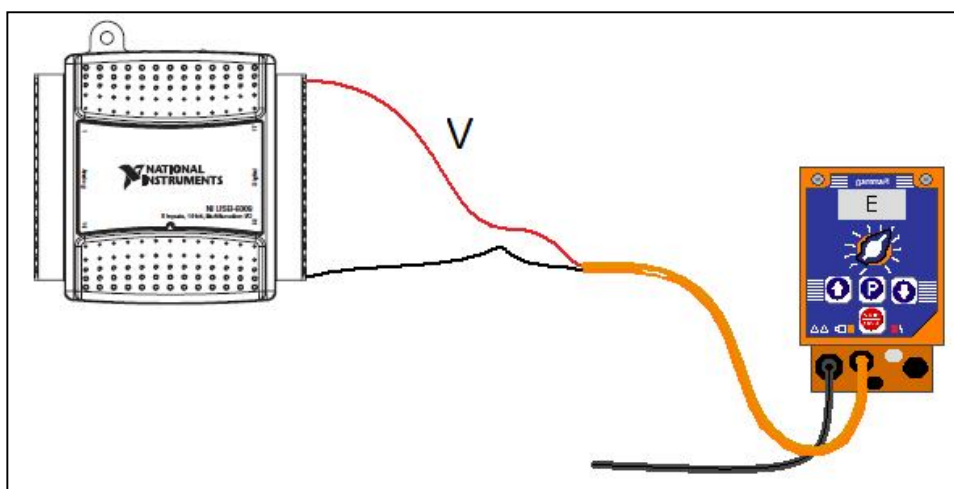


Figura N° 17: Señal de la Bomba de Alimentación de la UDCA

Se puede observar en la Figura N° 17 el recorrido de la señal que es enviada a la bomba de alimentación de la UDCA. Donde la tarjeta de NI USB-6009 envía una señal discreta (voltio) y es recibida por la bomba de alimentación, pero es importante mencionar que para que este sistema funcione, se debe configurar con anterioridad la bomba (Ver Apéndice B. 1), ya que esta se caracteriza por trabajar de forma manual, analógica ó digital, y debido a que los dos puertos analógicos de la tarjeta de NI USB-6009 se encuentran ocupados para la manipulación de las válvulas neumáticas, se utilizó la opción digital de la bomba, permitiendo recibir pulsos, los cuales se interpretan como el cambio de señal discreta de nivel de tensión alta (1) a tensión baja (0) en un corto periodo de tiempo (Oppenheim & Willsky, 1998). Cabe destacar que estos pulsos enviados cada cierto tiempo representaran la frecuencia de la bomba.

A continuación se muestra la figura que describe la señal enviada para activar y desactivar la bomba de vacío de la UDCA (solo en versión automatizada).

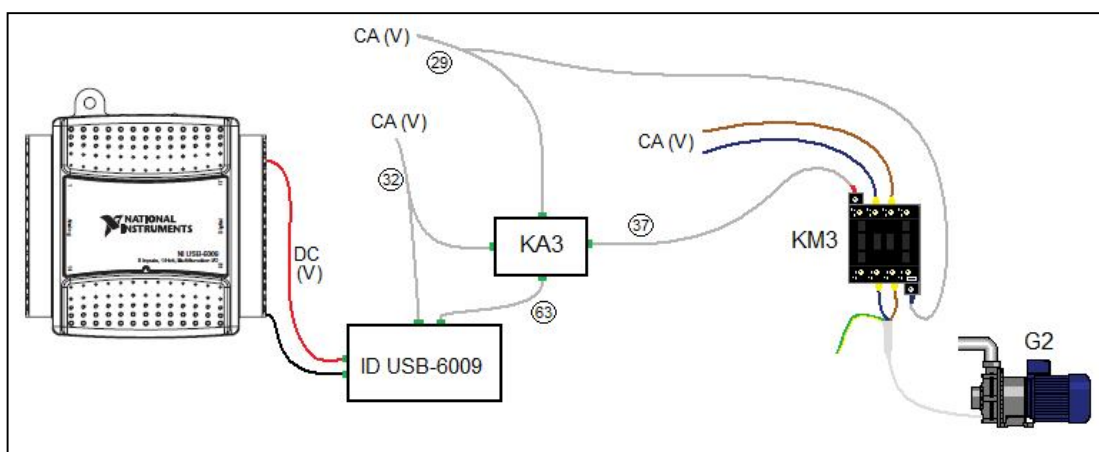


Figura N° 18: Señal de la Bomba de Vacío de la UDCA.

En la Figura N° 18 se puede observar el recorrido de la señal que es enviada a la bomba de Vacío de la UDCA. Primero la tarjeta de NI USB-6009

envía una señal discreta en voltios, la cual activará un relé de la tarjeta ID USB-6009, dejando que circule la corriente (CA) de la línea 32 a la línea 63, que conjuntamente con la línea 29 suministrarán la energía necesaria para que el relé KA3 permita el paso de corriente (CA) al contactor KM3, que es el encargado de proporcionar la energía (CA) para encender la bomba de vacío de la UDCA.

A continuación se presenta la figura que describe la señal enviada para activar y desactivar y regular la potencia de la resistencia eléctrica de la UDCA (solo en versión automatizada).

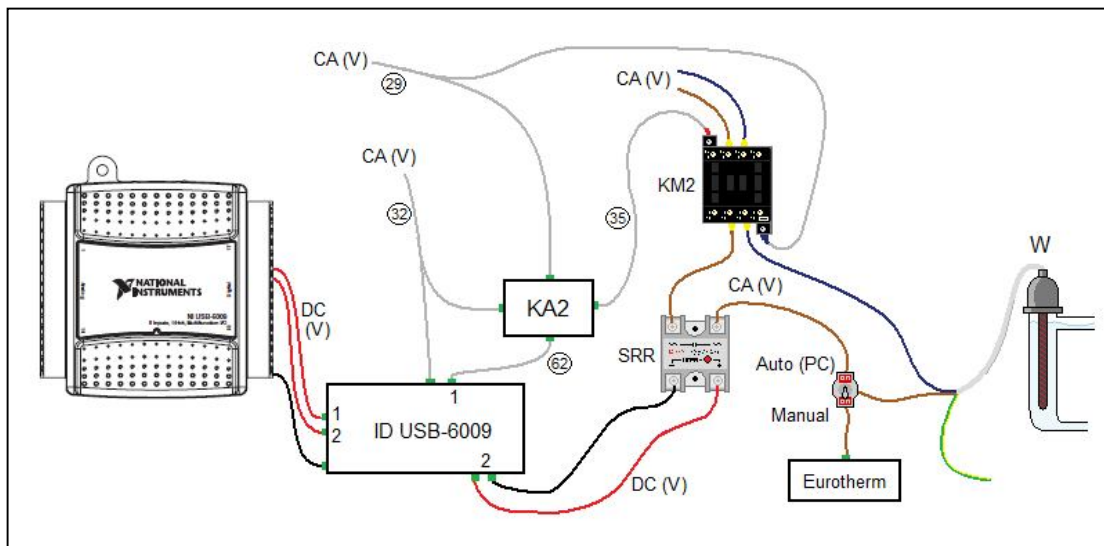


Figura N° 19: Señal de la Resistencia Eléctrica de la UDCA

Se puede observar en la Figura N° 19 el recorrido de la señal que es enviada para manipular de forma automática el encendido y apagado de la resistencia eléctrica de la UDCA. Primero se debe pasar el switch (interruptor Auto(PC)-Manual) de la posición manual a auto, el cual se encuentra en la parte lateral derecha del cajetín con el fin de poder manipular la resistencia en versión automatizada. Después la tarjeta de NI USB-6009 enviará una señal (1) discreta en voltios, la cual activará un relé de la tarjeta ID USB-

6009, permitiendo el paso de corriente (CA) de la línea 32 a la línea 62, que conjuntamente con la línea 29 activará el relé KA2, el cual dejara que la corriente (CA) circule de la línea 32 a la 35 activando el contactor KM2, que es el encargado de permitir el paso de energía (CA) hacia el relé de estado sólido (SSR), el cual recibe una señal cuadrada (2) desde la tarjeta ID USB-6009 (ver Apéndice D. 1) que permite activar y desactivar de manera continua el contacto que se encuentra en el mismo, permitiendo a su vez que la CA que sale del relé hacia la resistencia tenga una amplitud diferente que se traduce en la potencia suministrada por la resistencia.

Es importante mencionar que al operar de forma manual la UDCA, la potencia de la resistencia eléctrica es regulada mediante la perilla que se encuentra en el panel del equipo, siendo esta transmitida al Eurotherm, el cual interpreta la señal para luego enviar a la resistencia una señal de corriente CA con cierta amplitud.

A continuación se muestra la figura que describe la señal enviada para activar y desactivar la electroválvula de la UDCA (solo en versión automatizada).

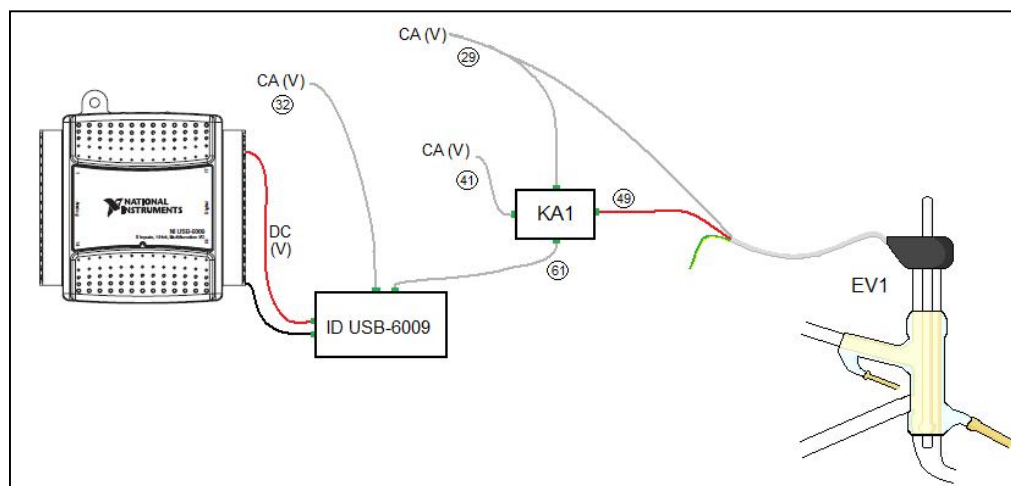


Figura N° 20: Señal de la Electroválvula de la UDCA

En la Figura N° 20 se describe el recorrido de la señal que es enviada a electroválvula cuando se opera la UDCA en versión automatizada. Primero la tarjeta de NI USB-6009 envía una señal discreta en voltios, la cual activará un relé de la tarjeta ID USB-6009, permitiendo el paso de corriente (CA) de la línea 32 a la línea 61, la cual conjuntamente con la línea 29 activará el relé KA1, dejando pasar la corriente de la línea 41 a la línea 49 y así enviar la energía necesaria para mantener encendida la electroválvula, es decir que la electroválvula estará abierta para que el producto se dirija al depósito de destilado (D2). También es importante mencionar que si no le llega energía a la electroválvula, ésta se mantendrá cerrada retornando el producto hacia la columna de destilación (C1).

IV.4. Adquisición De Las Señales De La UDCA

A continuación se mostrarán figuras representativas que permitirán describir y analizar los resultados obtenidos para adquisición de las señales de la unidad de destilación continua, siguiendo la metodología planteada.

IV.4.1. Instalación de la tarjeta NI USB-6009

En esta etapa se muestra la Figura N° 21, donde se describe el montaje de las señales analógicas de entrada (temperatura, flujo, presión diferencial, presión y residual) a la tarjeta de NI USB-6009

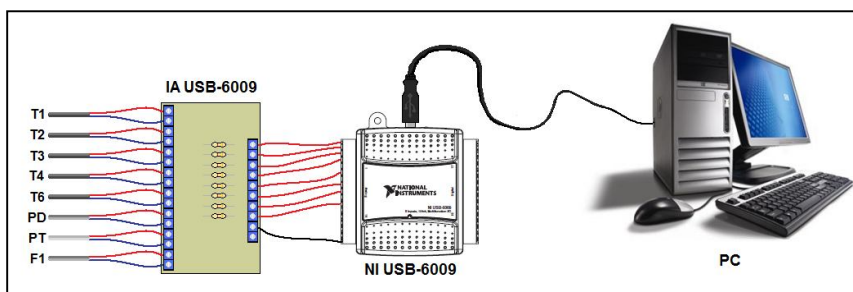


Figura N° 21: Adquisición de señales analógicas de la UDCA

En la figura anterior se observa la forma de realizar las conexiones para la adquisición de las señales analógicas de la UDCA. Primero se tomaron las señales de temperatura (T1, T2, T3, T4 y T6), presión residual (PT), presión diferencial (PD) y caudal de agua de enfriamiento (F1) con el fin de conectarlas a la tarjeta de interfaz analogía (IA USB-6009) y así realizar la conversión respectiva de corriente a tensión eléctrica. Esta conversión se realizó basándose en el principio de la ley de ohm, donde la tensión es igual a la intensidad de corriente que pasa por una resistencia (Frohn, Oberthur, Siedler, Wiemer, & Zastrow, 1997), es por esta razón que se hicieron pasar cada una de las señales de corriente (4-20mA) por una resistencia (240ohm), dando como resultado señales de tensión (0,96-4,8v). Para luego conectar estas señales de tensión a los puertos de la tarjeta NI USB-6009. Es importante destacar que la tarjeta NI USB-6009 solo lee medidas analógicas hasta 10 voltios, siendo esta la razón por la cual se escogió una resistencia de 240ohm. Y por último se describe en la Figura N° 21, se procede a la conexión de la tarjeta NI USB-6009 a la computadora por medio de un cable USB.

IV.4.2. Programa para la adquisición de señales.

En esta parte se mostrarán una serie de figuras que describen cada uno de los módulos necesarios para explicar el programa de adquisición de las señales analógicas realizado en el lenguaje de programación LabView.

A continuación se muestra la Figura N° 22, que representa el primer módulo (generación de canales de la tarjeta NI USB 6009) creado en LabView para el programa de adquisición de las señales de la UDCA.

A continuación se muestra en la Figura N° 23, que representa el segundo módulo (adquisición y procesamiento de las señales) creado en LabView para el programa de adquisición de las señales de la UDCA.

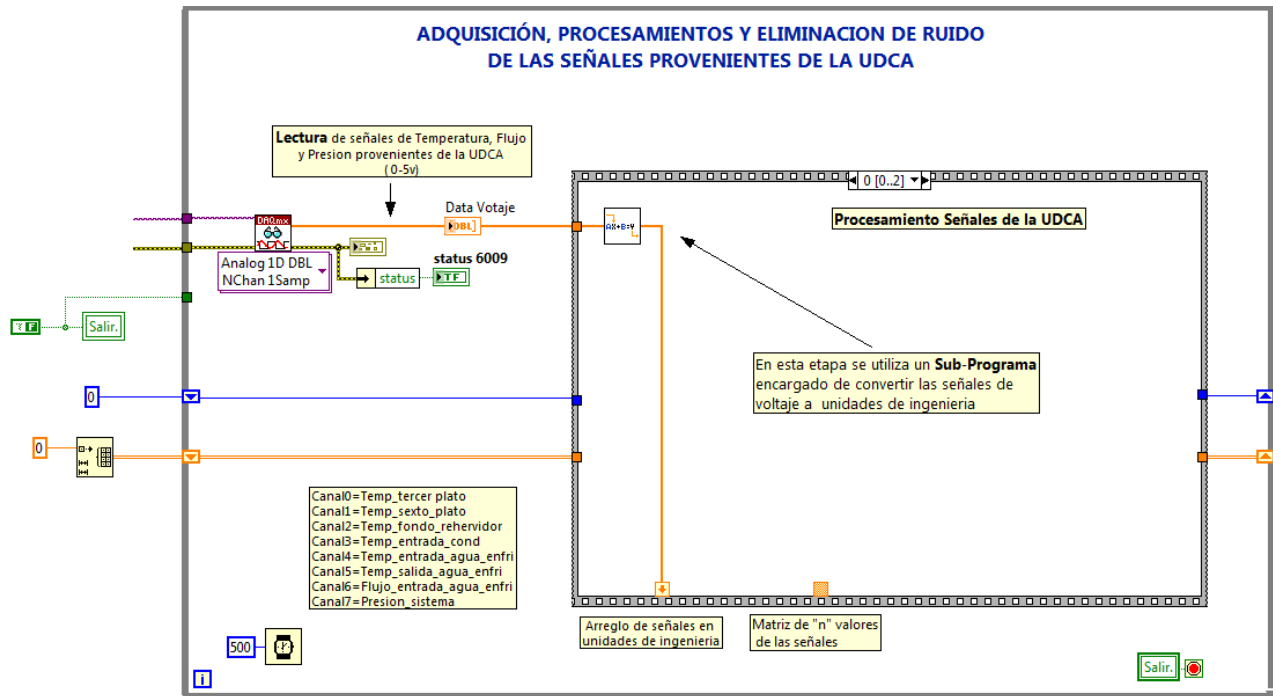


Figura N° 23: Segundo módulo “adquisición y procesamientos de las señales”.

En la Figura N° 23 se puede observar como el VI “DAQmx Read (Analog 1D DBL NChan 1Samp).vi”, se encarga de leer las señales analógicas que llegan a los canales de la tarjeta NI USB-6009, para luego reportarlas como una array llamado Data Voltaje, en el cual está contenida la información en voltaje de las señales que llegan a los puertos analógicos de entrada de la tarjeta NI USB-6009. Luego estas señales pasan por un SubVI que se encarga de transformarlas de voltaje a unidades de ingeniería (grados centígrados, bar, litros por hora, milímetros de columna de agua) (ver APÉNDICE C), dando como resultado un Array que contiene los valores de temperatura, presión residual, presión diferencial y caudal de agua de enfriamiento.

Es importante mencionar que en el segundo modulo (Figura N° 23) se realizó la programación necesaria para eliminar el ruido de las señales adquiridas, y esto se efectuó tomando los últimos 100 valores guardados en un array para cada una de las señales, con el fin de realizarles un promedio, y así visualizar de forma más estable los valores de las variables en el panel frontal del programa.

IV.5. Interfaz gráfica HMI

A continuación se mostrarán figuras representativas que permitirán describir y analizar los resultados obtenidos en la creación de la interfaz hombre-máquina (HMI).

La figura que se muestra a continuación se describe la pantalla principal del programa realizado para el monitoreo y control de la unidad de destilación continua automatizada.

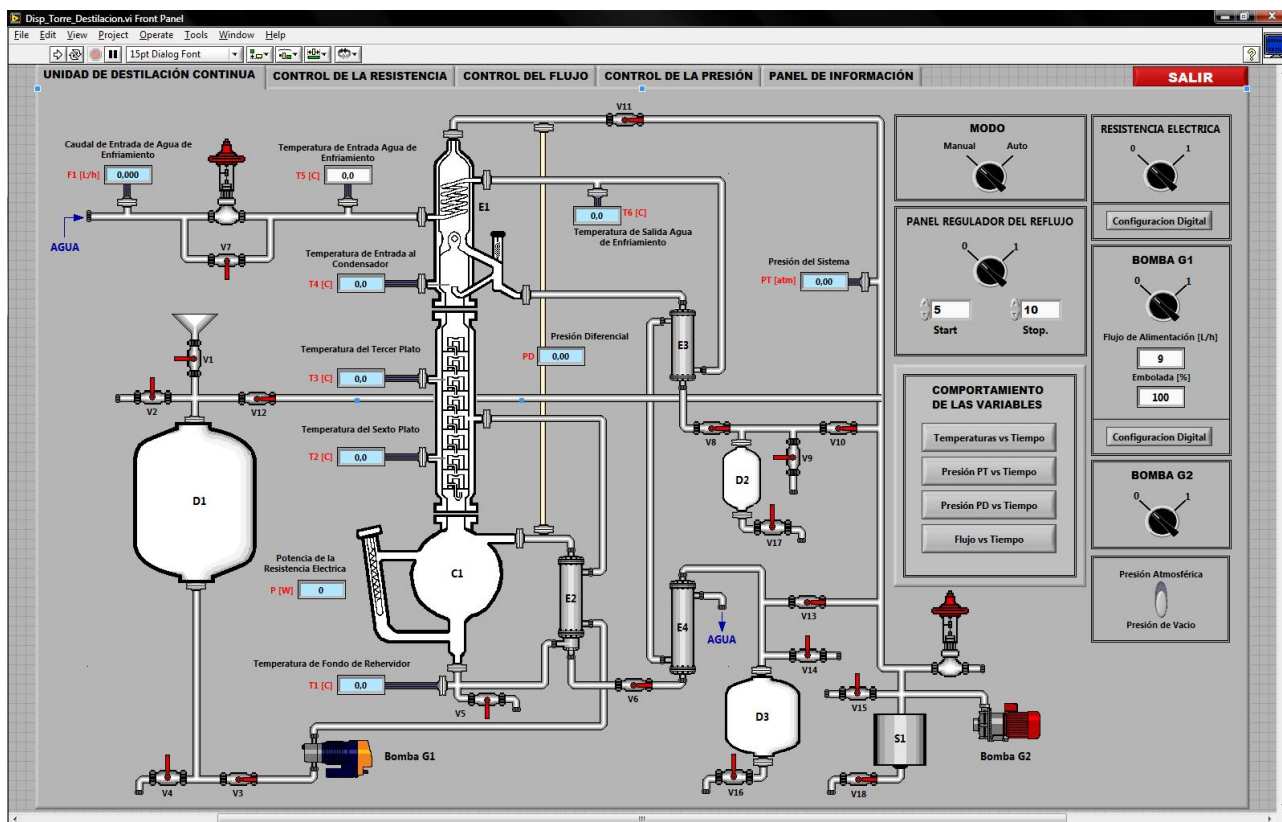


Figura N° 24: Pantalla Principal del Programa UDCA.

Como se puede observar en la Figura N° 24, la interfaz HMI fue creada en el panel frontal, ya que como se había hablado anteriormente esta ventana es la que LabView proporciona para que el usuario tenga interacción visual con los datos del programa. El diseño realizado en el panel frontal se ejecutó en forma de carpeta (dividido por pestaña), ya que facilitaba la visualización de todas las funciones creadas para este programa. Además, las imágenes que se observan en esta figura fueron imágenes importadas desde el computador, así como también algunas imágenes fueron creadas a partir de las paletas (Palette) de LabView.

En la pestaña “UNIDAD DE DESTILACION CONTINUA” que se muestra en la Figura N° 24, se pueden identificar el diagrama de flujo, donde se encuentran representados todos los componentes de proceso nombrados

en los resultados de la sección “IV.2.1”, así como un panel de control que contiene una serie de botones, switches y controles (recuadros blancos en la Figura N° 24) que permitirán escoger una serie de funciones que permitirán manejar estos componentes de proceso desde el computador. También es importante mencionar que en el diagrama de flujo se pueden observar los indicadores (recuadros azules) que representan cada una de las variables de la planta, tales como las temperaturas de la columna y del agua de enfriamiento, el caudal de agua de enfriamiento, la presión residual y la presión residual de la UDCA, así como también un indicador que muestra la potencia que es suministrada a la resistencia (la cual es calculada en el diagrama de bloques del programa).

Como se ha mencionado en el párrafo anterior esta pestaña tiene un panel de control que contiene una serie de botones, switches y controles (ver Figura N° 24). Los switches son interruptores que están representados como se visualizan en el panel físico de la UDCA, dentro de los cuales encontramos: Switch para escoger el modo de operación de la UDCA (MODO - Manual o Auto), este interruptor permite enviar una señal digital que activa una serie de relés energizando parte del panel físico del equipo, así como también enciende la bomba alimentación; switch para encender la resistencia eléctrica de la UDCA (RESISTENCIA ELECTRICA - 0 o 1), este switch a diferencia de anterior no envía una señal a la tarjeta, si no que se encarga de permitir el paso de señal de potencia, la cual es generada en el programa utilizando el método PWM (método explicado en el APÉNDICE DApéndice D. 1) y es enviada a la tarjeta NI USB-6009; switch para encender la bomba de vacío de la unidad de la UDCA (BOMBA G2 - 0 o 1), este switch envía una señal digital a la tarjeta NI USB-6009 activando una serie de relés (ver Figura N° 18), haciendo funcionar la bomba; switch para poner a funcionar la bomba de alimentación de la unidad de la UDCA (BOMBA G1 - 0 o 1), este switch al igual que el switch de la resistencia

eléctrica, no envía una señal a la tarjeta de NI USB-6009, si no que permite el paso de la señal de pulsos (representación booleana del flujo de trabajo de la bomba a una cierta embolada) que es programada en el diagrama de bloques (ver APÉNDICE E); y el ultimo switch representado en la Figura N° 24, es el switch para encender la electroválvula de la UDCA (PANEL REGULADOR DEL RELUJO – 0 o 1), este switch al igual que el switch de la bomba de alimentación no envía una señal a la tarjeta NI USB-6009 si no que permite el paso de la señal digital que fue programada en LabView y la cual representa el tiempo de apertura y cerrado de la electroválvula (ver APÉNDICE F), siendo esta señal digital la que permite activar el relé KA1, el cual deja circular la corriente que abre la electroválvula (ver Figura N° 20).

En la figura que se muestra a continuación se muestran las sub ventanas de los SubVI creados para la visualización del comportamiento de las variables en tiempo real de la UDCA. (Presión residual, Presión diferencial, temperaturas y flujo de agua de enfriamiento).



Figura N° 25: Visualización del comportamiento de las variables en tiempo real.

En la figura anterior se observan las graficas que permiten visualizar el comportamiento de las variables antes descritas. Estas graficas aparecerán en el programa principal (Disp_Torre_Destilacion.vi), al presionar un clic en los botones que se encuentran el recuadro del panel de comportamiento de las variables (ver Figura N° 24). Es importante mencionar que estas gráficas se realizaron creando las variables globales en LabView, esto se debe a que cada gráfica es un subprograma (SubVI) que el programa principal llama cuando el usuario lo desee, siendo esta la razón por la cual es imposible la conexión del programa principal con estos Sub VI mediante alambres.

IV.6. Control Automático De La UDCA

En esta sección de los resultados se muestran las tablas y figuras representativas que explican los controles de la unidad de destilación continua automatizada.

En la tabla que se muestra a continuación se representan los controles actuales de la unidad de destilación continua, identificando en ella las variables controladas y manipuladas para cada lazo.

Tabla N° 5: Lazos de control de la UDCA.

Lazo de Control	Variable Controlada	Variable Manipulada
Control del Flujo de Agua de Enfriamiento (FC1)	Caudal de Agua de enfriamiento (F1) [L/h]	Apertura de la válvula neumática de flujo (VCF) [%]
Control de Presión de Vacío (PC1)	Presión de Vacío (PdV) [L/h]	Apertura de la válvula neumática de presión (VCP) [%]
Control de la Temperatura del Sexto Plato de la Columna (TC1)	Temperatura del Sexto Plato de la Columna (T2) [°C]	Potencia de la Resistencia Eléctrica (W) [%]

En la Tabla N° 5 se puede observar cómo se encuentran ordenados los lazos, representando primero los dos lazos de control que la UDCA trae por defecto (FC1 y PC1), siendo estos los lazos que controlaba el Digitric P, realizando para cada uno de ellos un mecanismo de control por retroalimentación PID (Proporcional Integral Derivativo), este mecanismo es muy utilizado a nivel mundial y se caracteriza por calcular la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctiva que ajuste el proceso (Smith & Corripio, 1991). El último

lazo de control (TC1) representado en la Tabla N° 5, fue implementado en esta trabajo y tiene como objetivo el control inferencial de la composición del producto de fondo de la columna de destilación, ya que esta es una variable importante para el proceso de destilación. Además se escogió la temperatura del sexto plato de la columna (T2), debido a que es la única temperatura que se puede medir en un plato de la zona de agotamiento porque la columna es de vidrio siendo esto una limitación para medir otra temperatura, razón por la cual no se realizó el estudio para determinar el plato optimo o el plato mas sensible a cambios de temperatura.

El sistema de control que se emplea en esta tesis es un control automático por computadora, ya que los mecanismos de control por retroalimentación (PID) son programados en la ventana “diagrama de bloques” de LabView, dejando de lado el control robusto del Digitric P. es importante mencionar que este tipo de control se ha convertido en una práctica habitual, debido a que las computadoras digitales cada vez son más potentes, de menor costo, y de fácil disponibilidad para la implementación de algoritmos de control en el proyecto de sistemas de control (Perez, Perez, & Perez, 2008).

A continuación se muestra la Figura N° 26 que representa la interfaz creada el panel frontal del programa principal (Disp_Torre_Destilacion.vi) para el control del flujo de agua de enfriamiento de la unidad de destilación continua.

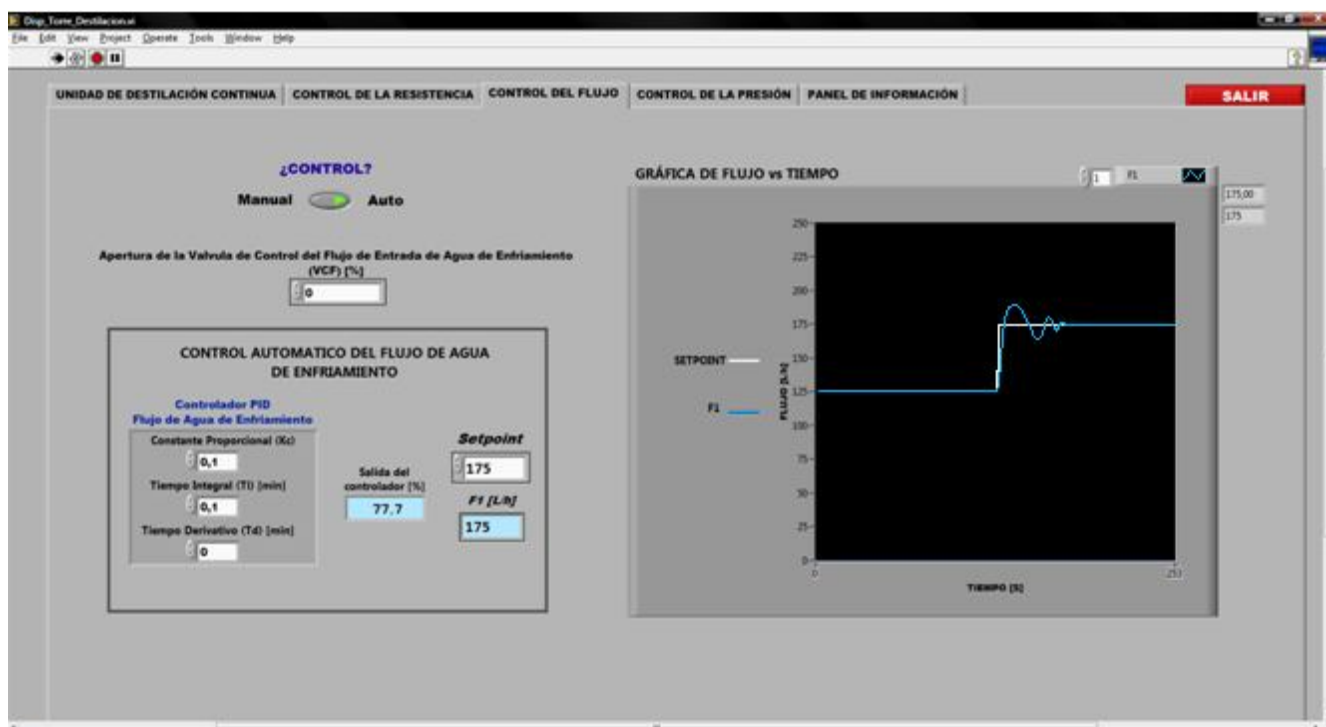


Figura N° 26: Interfaz para el control del flujo de agua de enfriamiento.

En la figura anterior se puede observar la interfaz para el control de flujo de agua de enfriamiento. Esta interfaz se creó en una de las pestañas del de la interfaz del programa principal (Disp_Torre_Destilacion.vi), en ella se puede visualizar un botón, que permite escoger la forma de controlar esta variable, es decir cuando el botón se encuentra apagado, quiere decir que el control del flujo es manual, siendo la apertura de la válvula (recuadro blanco de bajo del botón) la variable que define el flujo de agua de enfriamiento. En cambio cuando se activa el botón de control auto, se activa el mecanismo de control por retroalimentación PID el cual utiliza los valores de la constante proporcional (K_c), el tiempo integral (t_i) y tiempo derivativo (t_d), para calcular la apertura porcentual de la válvula necesaria para llegar al flujo deseado (setpoint). Es importante mencionar que los parámetros que se observa en la Figura N° 26 ($K_c=0,1$; $t_i=0,1$; $t_d=0$), fueron ajustados de forma manual, el cual consistió en establecer primero los valores de (t_i) y (t_d) a cero, para luego ir

incrementando (K_c) hasta que la salida del lazo oscilará. Luego estableció (K_c) a aproximadamente la mitad del valor configurado previamente, y por último se incrementó (t_i) hasta que el proceso se ajustó en el tiempo. Además se puede observar en la Figura N° 26 la gráfica de flujo en función del tiempo, la cual corrobora que el controlador posee una buena respuesta a cambios en escalón del setpoint.

El lazo (PC1) mencionado en la Tabla N° 5, es el encargado de controlar la presión de operación (presión de vacío) de la columna, siendo esta variable de suma importancia en las columnas de destilación, esto se debe a que la presión define la temperatura a la cual se separan los componentes de la mezcla a destilar, ya que fija la temperatura del fondo de la columna y por consiguiente define el gasto energético necesario para separar la mezcla (Henley & Seader, 2000). En la UDCA el lazo funciona de tal manera que la bomba de vacío lleva la presión de operación dentro de la columna a un punto menor a la atmosférica, siendo esta presión regulada por medio de la válvula neumática VCP.

Es por la razón mencionada en el párrafo anterior que a continuación se muestra la Figura N° 27, la cual representa la interfaz creada el panel frontal del programa principal (Disp_Torre_Destilacion.vi) para el control de la presión de vacío de la columna de destilación continua.

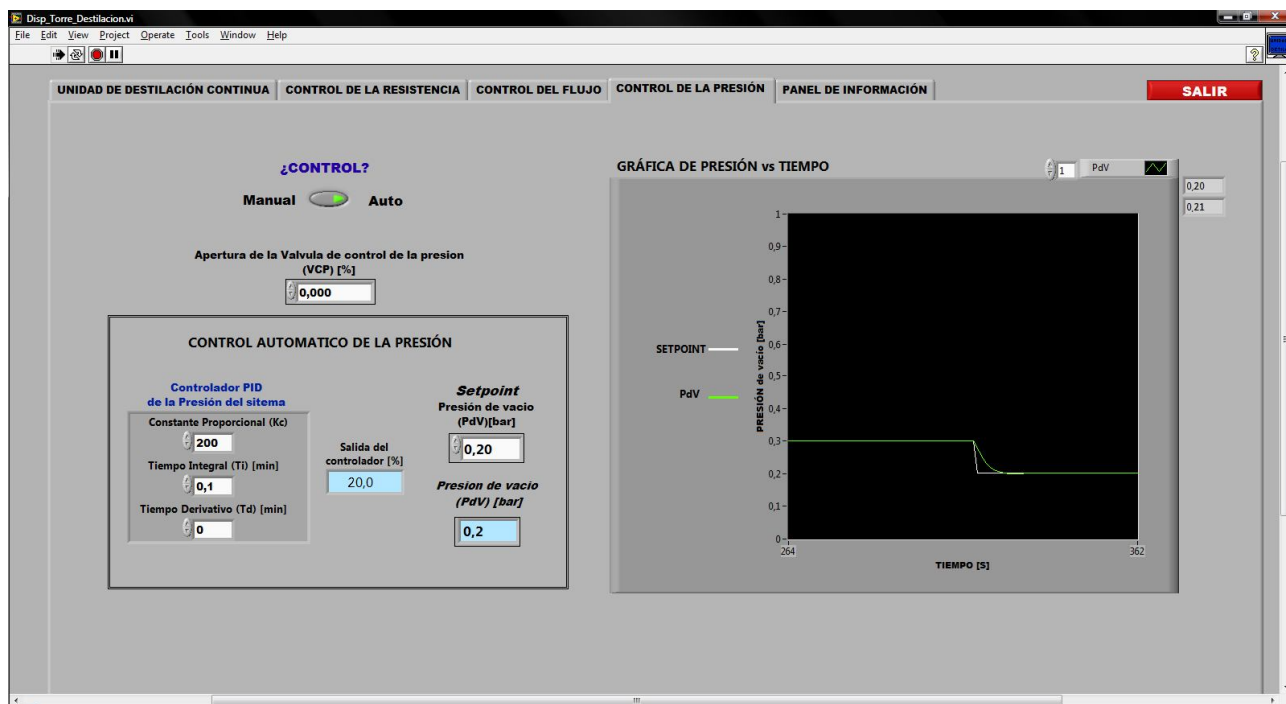


Figura N° 27: Interfaz para el control de la presión de vacío.

En la Figura N° 27 se puede observar la interfaz para el control de la presión de vacío en una de las pestañas (Control de la presión) del programa principal. En ella se aprecia la gráfica representativa para este control, la cual muestra el comportamiento en el tiempo de esta variable. También se puede observar en la Figura N° 27 el botón del control manual o auto, así como también los valores ajustados (utilizando el método manual) de los parámetros del controlador ($K_c=200$, $t_i=0,1$ y $t_d=0$). Es importante destacar que tanto el setpoint como el indicador de la presión de vacío se encuentran representados por valores positivos de presión y se leen con la denotación por debajo de la atmosfera. También se puede observar en la Figura N° 27 la gráfica de respuesta de la presión de vacío en el tiempo, en donde se puede comprobar que el controlador tiene una buena respuesta rápida cuando se realiza un salto en escalón del setpoint.

En la figura que se muestra a continuación, se representa la interfaz creada en el panel frontal del programa principal (Disp_Torre_Destilacion.vi), con el fin de visualizar el control de la temperatura del sexto plato de la UDCA.

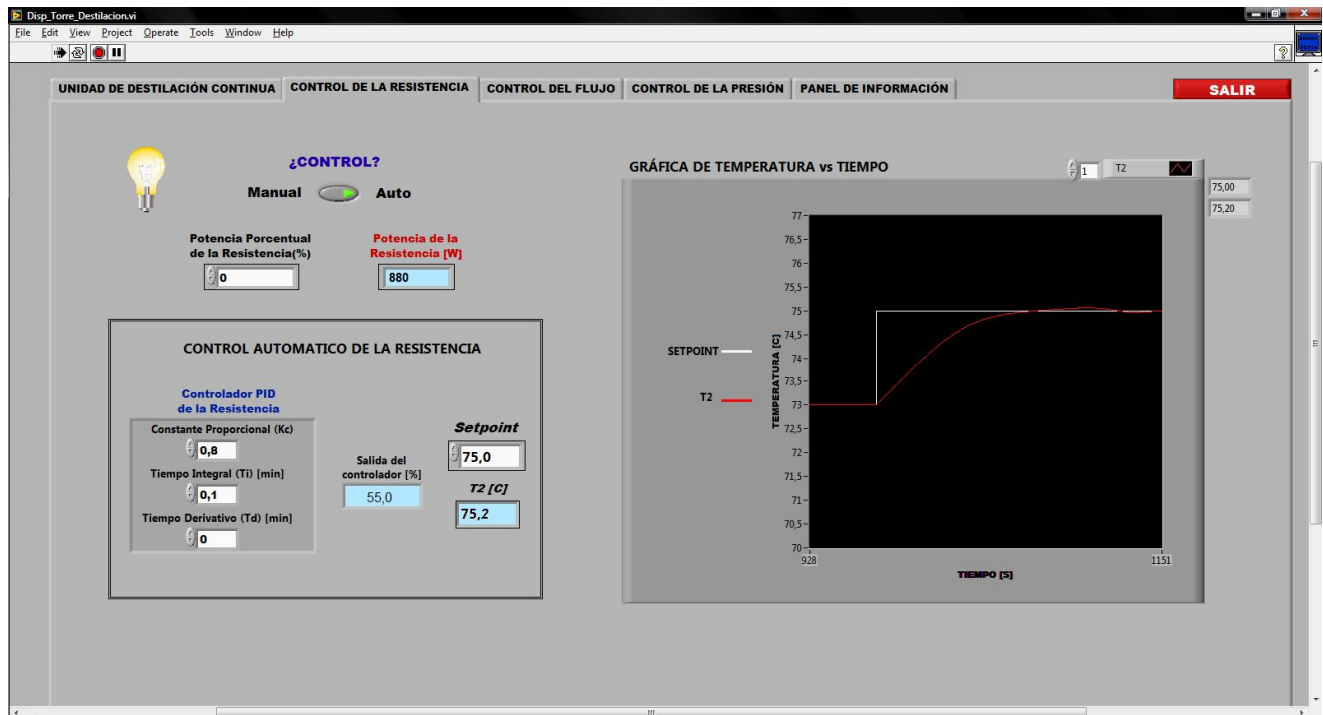


Figura N° 28: Interfaz para el control de la temperatura del sexto plato

Al igual que con los controles explicados anteriormente, la Figura N° 28 representa la interfaz creada en la pestaña (control de la resistencia) del programa principal, pero esta tiene la leve diferencia de que en la parte superior derecha aparece un bombillo, que al estar prendido quiere decir, que el switch de la resistencia eléctrica que se encuentra en la primera pestaña del programa está en la posición 1, lo cual indica que la resistencia eléctrica se encuentra encendida. Además en la Figura N° 28, se puede observar tanto los parámetros del controlador ($K_p=0,8$; $t_i=0,1$; $t_d=0$), como la gráfica de la temperatura en función del tiempo, en la cual se encuentra

representado el comportamiento cuando se realiza un cambio de dos grados en escalón a la temperatura T2, siendo esta una respuesta lenta pero precisa en el tiempo.

IV.7. Visualización En Red De Las Variables De La Planta

En esta sección de los resultados se muestran una serie de figuras que explican brevemente el programa y sub-programas creados para la publicar las variables de la planta.

La figura que se mostrará a continuación representa el módulo programado en el VI principal (Disp_Torre_Destilacion.vi), el cual permitirá publicar las variables importantes de la planta utilizando el protocolo de comunicaciones UDP.

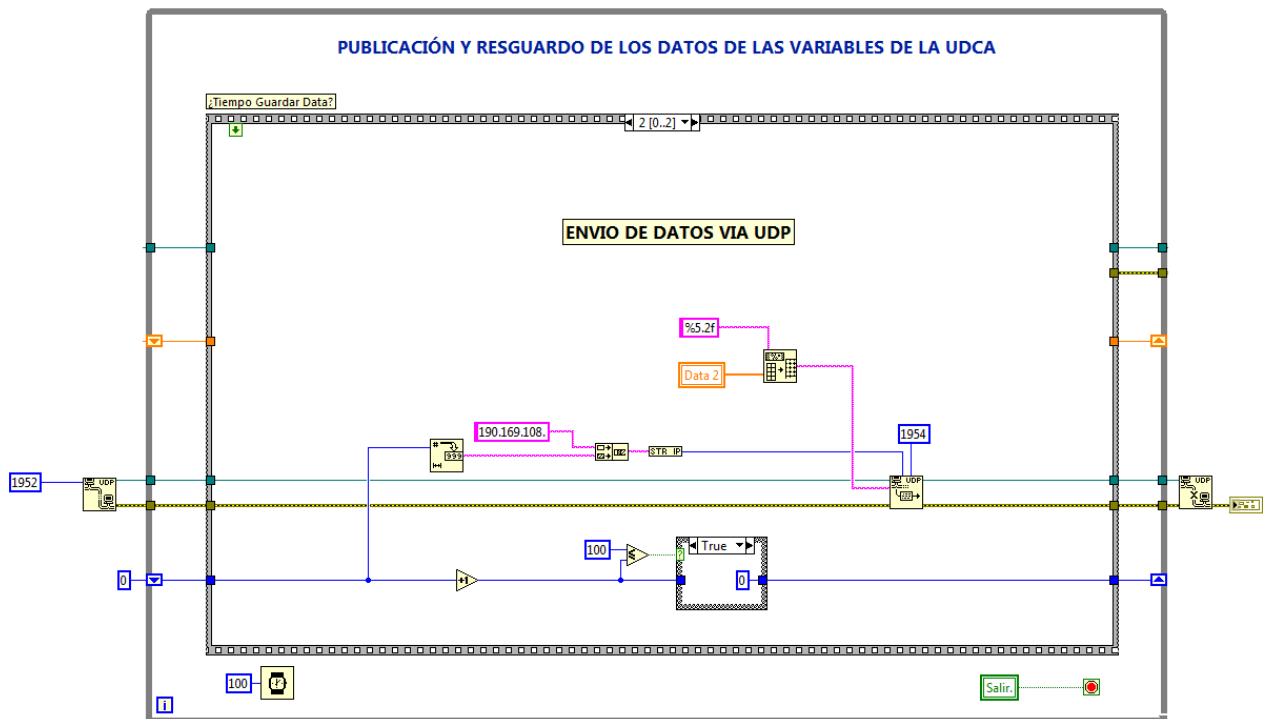


Figura N° 29: Módulo utilizado para la publicación de las variables de la planta vía UDP.

Se puede observar en la Figura N° 29 las funciones (VI) utilizadas para realizar la el envío de las variables de la planta. El primer VI que se utilizó fue el UDP Open Function, el cual es el encargado de iniciar una sesión UDP e indicarle al sistema operativo que puerto (1952) debe reservar para las futuras operaciones. Una vez iniciada la sesión UDP se procede a la escritura de los datos utilizando la función UDP Write, indicándole a esta función el puerto (1954) y la dirección sobre la que escribir, con el fin de enviar una serie de paquetes a todas las redes disponibles. También en la función UDP se debe ingresar los datos de las variables de la planta (temperaturas de la columna, presión residual, presión diferencial, caudal de agua de enfriamiento, caudal de alimentación, potencia de la resistencia eléctrica y los tiempos de apertura y cerrado de la electroválvula) que se desean enviar, estos datos son suministrados desde otra parte del programa principal por medio de una variable local (Data 2), donde son convertidos a datos alfanuméricos (strings) ya que la función UDP Write solo envía datos tipo strings. Y por último cerrar la sesión UDP mediante la función UDP Close.

A continuación se muestra la Figura N° 30, la cual representa el modulo creado en el diagrama de bloques del programa creado para la lectura de variables de la planta vía UDP (Lectura_UDP.vi).

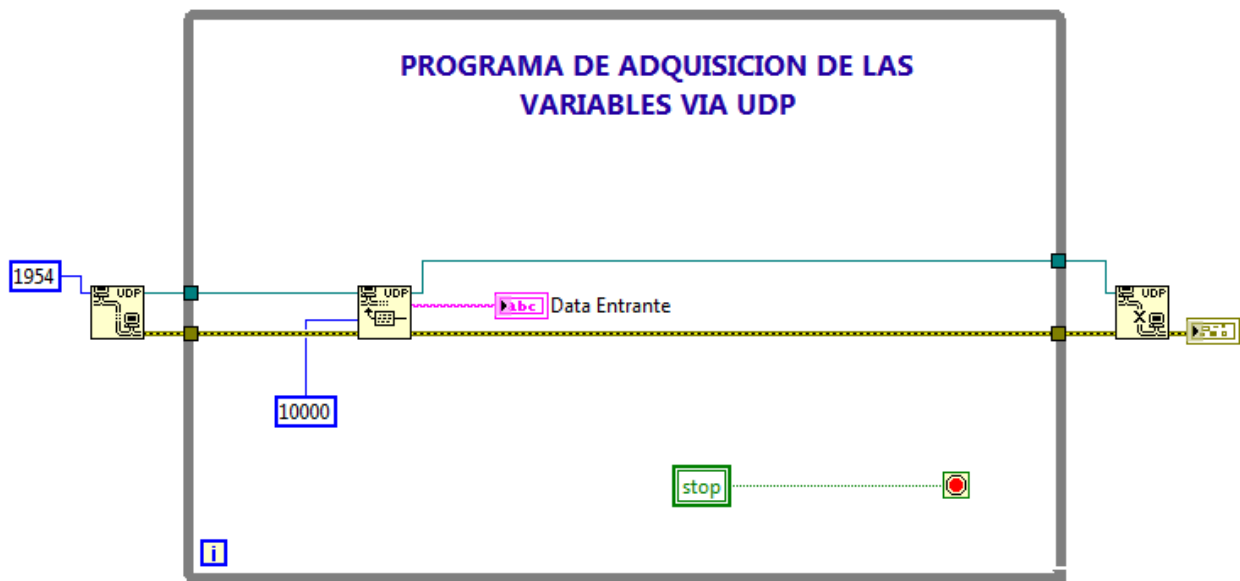


Figura N° 30: Módulo utilizado para la lectura de las variables de la planta vía UDP.

En la Figura N° 30 se puede observar la programación realizada al programa (Lectura_UDP.vi), para leer las variables de la planta que son publicadas en tiempo real vía UDP. Al igual que en el programa principal, el primer VI utilizado es de UDP Open Function, definiéndole el puerto (1954) como el puerto que se utilizara para las operaciones siguientes. El segundo VI utilizado es el de UDP Read, siendo este el encargado de leer los paquetes de datos enviados vía UDP. A esta función se le definió tiempo o timeout de 10000 ms (10 segundos), siendo este el tiempo que la función permanecerá en modo de espera para recibir datos (bytes), si el tiempo transcurrido es mayor esta función generara un error. Los datos las variables de la planta que retorna la función UDP Read, vienen en un array de tipo strings, siendo las variables separadas y transformadas al tipo de datos más conveniente (numéricos). Y por último se cierra la sesión UDP iniciada mediante la función UDP Close.

Al igual que el programa principal (Disp_Torre_Destilacion.vi), al programa de lectura de las variables vía UDP (Lectura_UDP.vi) se le creó una interfaz de usuario en el panel frontal del mismo, esta interfaz hombre maquina se realizó de la misma forma que la del programa principal, pero con solo dos pestañas, las cuales fueron la pestaña principal denominada “unidad de destilación continua” y la pestaña secundaria la cual se le denominó “panel de información”. La primera pestaña tiene la interfaz muy parecida a la del programa principal con la excepción, de que en ella no se encuentran los botones y switches de control de los instrumentos, pero si se encuentra el panel de comportamiento de las variables como en la Figura N° 25.

A continuación se mostrara la interfaz de la segunda pestaña del programa de lectura vía UDP de las variables de la unidad de destilación continua.

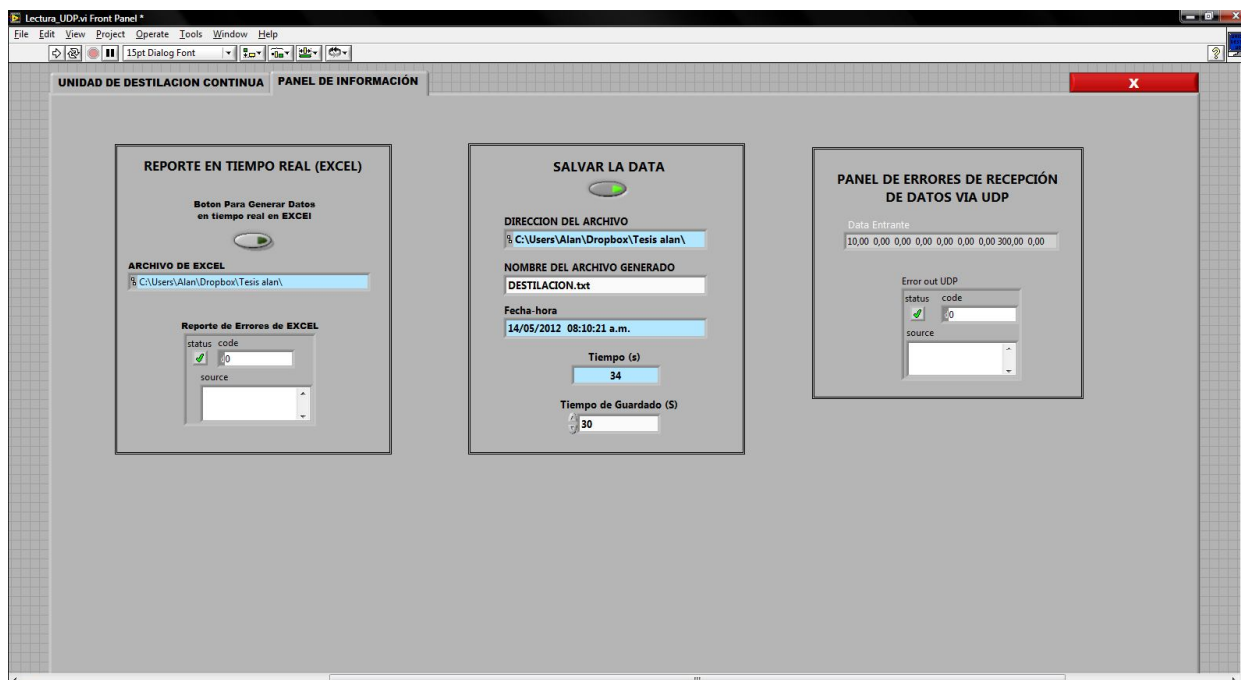


Figura N° 31: imagen del Panel de Información del programa de Lectura_UDP.vi.

Se puede observar de la Figura N° 31 el panel de información para el programa de lectura vía UDP, en el se representan dos características fundamentales, que también se encuentran en el panel de información del programa principal (Disp_Torre_Destilacion.vi), las cuales son: salvar la data, la cual se encarga de guardar mediante un archivo de formato texto todas las variables de la planta, con el fin de tener un respaldo que pueda ser utilizado con fines informativos o didácticos del comportamiento de estas variables (ver programa en el APÉNDICE G); y la otra característica importante es la reportar las variables de la planta en tiempo real en Excel. Esta característica permitirá ir visualizando en un archivo de Excel como van cambiando las variables segundo a segundo. Además es importante mencionar que el al activar el botón por primera vez automáticamente se abre el archivo de Excel correspondiente para esta publicación de las variables en tiempo real (ver programa en el APÉNDICE H).

IV.8. Manual De Operación De Los Programas De La UDCA

En esta sección se explicara las características destacadas que presentó el manual de operación de los programas utilizados de la UDCA (ver APÉNDICE I).

El manual realizado (APÉNDICE I) sirve como guía para el entendimiento de los programas y fue realizado en forma de un cuestionario, ya que se efectuaron una serie de preguntas seguidas por las respuestas de las mismas. En este manual se menciona primero el programa “Disp_Torre_Destilacion” donde las preguntas empezaron desde ¿Qué es el Disp_Torre_Destilacion? Hasta los diferentes usos del programa. Y de igual forma se realizó con el segundo programa “Lectura_UDP”.

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones obtenidos para el trabajo de monitoreo y control de una unidad de destilación continua a escala piloto empleando un lenguaje de programación informático.

- Operar la UDCA en modo automático presenta 7 ventajas importantes y ninguna desventaja.
- El monitoreo en tiempo real de las variables física de la comuna de destilación es de gran ventaja para analizar el comportamiento del proceso y tomar decisiones durante el mismo.
- Se logro la supervisión de las variables de presión diferencial, presión de vacío, flujo de agua de enfriamiento y temperaturas de la columna utilizando LabView.
- Se logro la implementación de controladores económicamente factibles mediante el uso del software LabView.
- La unidad de destilación continua presentó 3 lazos de control: uno para la temperatura de del sexto plato de la columna, uno para presión de vacío de la columna y uno para el caudal de agua de enfriamiento.
- Se logro el envío y recepción de los datos de la UDCA utilizando el protocolo de comunicación UDP para la visualización en red de las variables de la planta.
- Se logro la conexión entre LabView y Excel permitiendo compartir los datos de las variables de la UDCA.
- El manual de operación de los programas desarrollados en este trabajo sirve como una guía para el entendimiento del funcionamiento de los mismos.

- El desarrollo de este trabajo demuestra la viabilidad de usar el software LabView como medio para impulsar el desarrollo de sistemas de automatización y control por computadora.

RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las recomendaciones para mejorar el trabajo de monitoreo y control de una unidad de destilación continua a escala piloto empleando un lenguaje de programación informático.

- Realizar la adquisición de las composiciones molares de los productos por medio de analizadores en línea ya que son variables de gran importancia para el control de la planta.
- Realizar un modelado matemático para estimar en línea las composiciones molares de los productos.
- Realizar la adquisición de la temperatura de entrada a la columna de la mezcla alimentada, ya que esta es una de las variables importantes a la hora de realizar simulaciones de columnas de destilación.
- Realizar la implementación del lazo de control de la temperatura de los vapores de entrada al condensador de tope (T4), manipulando la razón de reflujo (los tiempo en la electroválvula) con el fin de realizar un control inferencial de la composición del destilado, ya que esta es la variable más importante en el proceso de destilación.
- Estudiar la implementación del lazo de control de la presión diferencial de la columna, manipulando el flujo de alimentación de la mezcla, con el fin de optimizar la operación de la columna, ya que se trabajaría cerca del porcentaje óptimo de inundación.
- Estudiar la posibilidad de implementar estrategias avanzadas de control para la unidad de destilación continua, así como también Realizar un control basado en un modelo.

- Implementar en las materias de laboratorio de operaciones unitarias II y control de procesos, la utilización del programa para que los estudiantes se familiaricen con la versión automática de la unidad de destilación continua.

BIBLIOGRAFÍA

- Azancot, L. (2010). *Modelado matemático y simulación en estado estacionario y dinámico de una columna de recuperadora de metanol de platos perforados*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Blanco, O., & Inciarte, M. (2009). *Desarrollo de un sistema SCADA para una columna de destilación benceno-tolueno*. Mérida, Venezuela: Universidad De Los Andes.
- Coughlin, R., & Driscoll, F. (1993). *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
- Creus, A. (2001). *Instrumentación Industrial*. Bogotá, Colombia: Alfaomega, S. A.
- Electronica Veneta. (1998). *Manual de operación de la unidad de destilacion continua MOD. UDCA/EV*. Italia: ElectronicaVeneta.
- Espinoza, J., & Pérez, O. (2009). *Automatización de una columna de Destilación*. Cuernavaca, México: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- Frohn, M., Oberthur, W., Siedler, H., Wiemer, M., & Zastrow, P. (1997). *Curso de Electrónica II: Componentes y Circuitos Básicos de la Microelectronica*. Cuenca, Ecuador: Edibosco.
- García, C., & Arboleda, C. (2007). *Implementación de Técnicas de Generación de Modulación por Ancho de Pulso (PWM) Utilizando Dispositivos de Lógica Programable (Field-Programmable Gate Array) Para el Control de Inversores Trifásicos*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

- Gonzalez, R., & Pradines, R. (2007). *Análisis de software para desarrollo entorno gráfico LabView y propuesta de implementación para laboratorio en el instituto de electricidad y electrónica en universidad austral de chile*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Henley, E., & Seader, J. D. (2000). *Operaciones De Separación Por Etapas De Equilibrio En Ingeniería Química*. Distrito Federal, México: Reverté S. A.
- Maloney, T. (1983). *Electrónica Industrial*. Distrito Federal, México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A.
- Malvino, A. P. (2000). *Principios de Electrónica* (Sexta edición ed.). Madrid, España: McGraw-Hill.
- McCabe, W. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. México: McGraw Hill.
- Oppenheim, A., & Willsky, A. (1998). *Señales y Sistemas*. Distrito Federal, México: Prentice Hall.
- Perez, M., Perez, A., & Perez, E. (2008). *Introducción a los Sistemas de Control y Modelado Matemático para Sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo*. San Juan, Argentina: Universidad Nacional De San Juan.
- Rivas, F. (2006). *Diseño de una estación de monitoreo de procesos. Aplicación a una columna de destilación*. Cuernavaca, México: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- Smith, C., & Corripio, A. (1991). *Control Automático de Procesos*. Distrito Federal, México: Limusa, S. A.
- Téllez, A. (2010). *Supervisión electrónica de columnas de destilación basadas en modelo*. Cuernavaca, México: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

- Treybal, R. (1988). *Operaciones de transferencia de masa*. México: McGraw Hill.
- Zamarreño C., J. M. (2003). *Comunicación de LabVIEW con ecosimpro para la generación de predicciones en una columna de destilación*. Valladolid, España: Universidad de Valladolid.

APÉNDICE

Apéndice A. 1: Fotografía de caldera de la UDCA.....	85
Apéndice A. 2: Fotografía de la resistencia eléctrica de la UDCA	85
Apéndice A. 3: Fotografía de la Columna de Destilación de la UDCA.....	86
Apéndice A. 4: Fotografía del Condensador de cabeza de la UDCA.....	86
Apéndice A. 5: Fotografía de la Electroválvula de reflujo de la UDCA.....	87
Apéndice A. 6: Fotografía del Depósito de Alimentación de la UDCA.	87
Apéndice A. 7: Fotografía del Depósito de Destilado de la UDCA.....	88
Apéndice A. 8: Fotografía del Depósito del Residuo de la UDCA.....	88
Apéndice A. 9: Fotografía de los Intercambiadores de Calor de la UDCA....	89
Apéndice A. 10: Fotografía de la Bomba de Alimentación de la UDCA.	89
Apéndice A. 11: Fotografía de la Bomba de Vacío de la UDCA.....	90
Apéndice A. 12: Fotografía del Separador de Gotas de la UDCA.....	90
Apéndice A. 13: Fotografía de una Válvulas de la UDCA.	90
Apéndice A. 14: Fotografía del Vacuómetro de la UDCA.....	91
Apéndice A. 15: Fotografía de las Válvulas Neumáticas de la UDCA.....	91
Apéndice A. 16: Fotografía de un Indicador Electrónico De Temperatura de la UDCA.....	91
Apéndice A. 17: Fotografía de las Temporizadores de la UDCA.	92
Apéndice A. 18: Fotografía de la Unidad de Eurotherm de la UDCA.....	92
Apéndice A. 19: Fotografía del Medidor De Flujo De Agua De Enfriamiento de la UDCA.....	92
Apéndice A. 20: Fotografía del Medidor Electrónico De Presión Residual de la UDCA.....	93
Apéndice A. 21: Fotografía del Medidor Electrónico De Presión Diferencial de la UDCA.....	93
Apéndice A. 22: Fotografía del Indicador Electrónico De Presión Residual de la UDCA.....	93
Apéndice A. 23: Fotografía una Termorresistencia de la UDCA.....	94

Apéndice A. 24: Fotografía de las Tarjetas Electrónicas ADE023A de la UDCA.....	94
Apéndice A. 25: Fotografía del Controlador “Digitric P” de la UDCA.	94
Apéndice A. 26: Fotografía de la Tarjeta Electrónica EV021 de la UDCA. ...	95
Apéndice A. 27: Fotografía del Transformador (TC1) de la UDCA.	95
Apéndice A. 28: Fotografía de las Fuentes de Alimentación AMT18 y AMT13 de la UDCA.	96
Apéndice A. 29: Fotografía de un Filtro Eléctrico de la UDCA.	96
Apéndice A. 30: Fotografía de un Contactor de la UDCA.	96
Apéndice A. 31: Fotografía del Relé de Estado Sólido (SSR) de la UDCA...	97
Apéndice A. 32: Fotografía del Diodo de la UDCA.	97
Apéndice A. 33: Fotografía de la Tarjeta Electrónica “NI USB-6009” de la UDCA.....	97
Apéndice A. 34: Fotografía de la Tarjeta Electrónica “IA USB-6009” de la UDCA.....	98
Apéndice A. 35: Fotografía de la Tarjeta Electrónica “ID USB-6009” de la UDCA.....	98
Apéndice B. 1: Pasos Para La Programación Digital De La Bomba (G1)	99
Apéndice C. 1: Grafica de calibración de la Temperatura T1.....	101
Apéndice C. 2: Grafica de calibración de la Temperatura T2.....	102
Apéndice C. 3: Grafica de calibración de la Temperatura T3.....	103
Apéndice C. 4: Grafica de calibración de la Temperatura T4.....	104
Apéndice C. 5: Grafica de calibración de la Temperatura T5.....	105
Apéndice C. 6: Grafica de calibración de la Temperatura T6.....	106
Apéndice C. 7: Grafica de calibración del caudal de agua de enfriamiento.	107
Apéndice C. 8: Grafica de calibración de la Presión Residual de la UDCA.	108
Apéndice C. 9: Grafica de calibración de la Presión Diferencial de la UDCA.	109

Apéndice D. 1: Programación del método PWM en LabView.	110
Apéndice E. 1: Programación de la señal enviada a la bomba de alimentación de la UDCA.	111
Apéndice F. 1: Programación de la señal de enviada a la electroválvula ...	113
Apéndice G. 1: Programación Realizada Para El Respaldo (Salvado) De La Data	115
Apéndice G. 2: imagen de un archivo texto con información de las variables de la planta.	116
Apéndice H. 1: Programación Realizada Para Reportar Variables En Excel En Tiempo Real	117

APÉNDICE A

Componentes De La Unidad De Destilación Continua

Apéndice A. 1: Fotografía de caldera de la UDCA



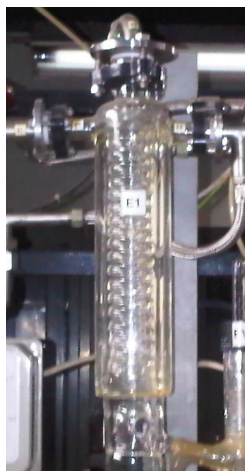
Apéndice A. 2: Fotografía de la resistencia eléctrica de la UDCA



Apéndice A. 3: Fotografía de la Columna de Destilación de la UDCA.



Apéndice A. 4: Fotografía del Condensador de cabeza de la UDCA.



Apéndice A. 5: Fotografía de la Electroválvula de reflujo de la UDCA.



Apéndice A. 6: Fotografía del Depósito de Alimentación de la UDCA.



Apéndice A. 7: Fotografía del Depósito de Destilado de la UDCA.



Apéndice A. 8: Fotografía del Depósito del Residuo de la UDCA.



Apéndice A. 9: Fotografía de los Intercambiadores de Calor de la UDCA.



Apéndice A. 10: Fotografía de la Bomba de Alimentación de la UDCA.



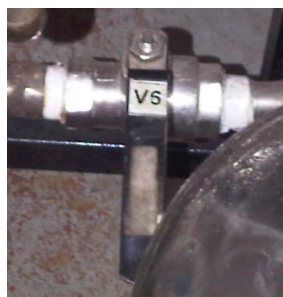
Apéndice A. 11: Fotografía de la Bomba de Vacío de la UDCA.



Apéndice A. 12: Fotografía del Separador de Gotas de la UDCA.



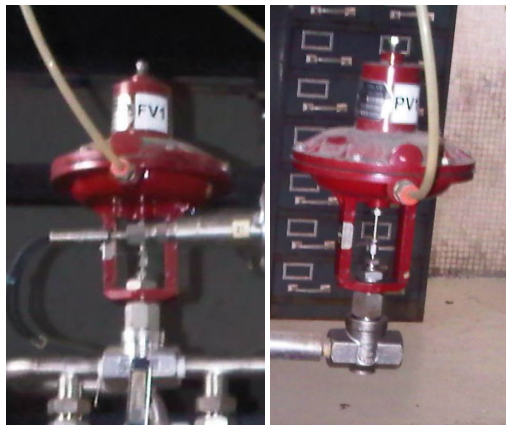
Apéndice A. 13: Fotografía de una Válvulas de la UDCA.



Apéndice A. 14: Fotografía del Vacuómetro de la UDCA.



Apéndice A. 15: Fotografía de las Válvulas Neumáticas de la UDCA.



Apéndice A. 16: Fotografía de un Indicador Electrónico De Temperatura de la UDCA.



Apéndice A. 17: Fotografía de las Temporizadores de la UDCA.



Apéndice A. 18: Fotografía de la Unidad de Eurotherm de la UDCA.



Apéndice A. 19: Fotografía del Medidor De Flujo De Agua De Enfriamiento de la UDCA.



Apéndice A. 20: Fotografía del Medidor Electrónico De Presión Residual de la UDCA.



Apéndice A. 21: Fotografía del Medidor Electrónico De Presión Diferencial de la UDCA.



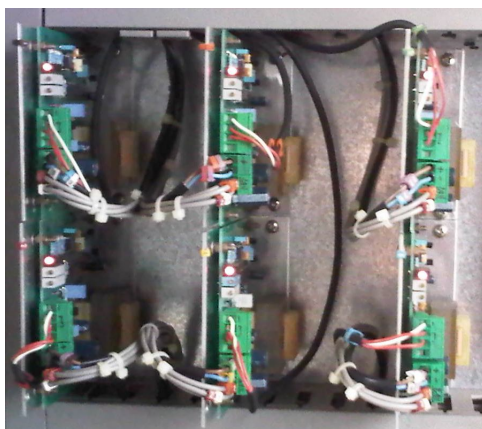
Apéndice A. 22: Fotografía del Indicador Electrónico De Presión Residual de la UDCA.



Apéndice A. 23: Fotografía una Termorresistencia de la UDCA.



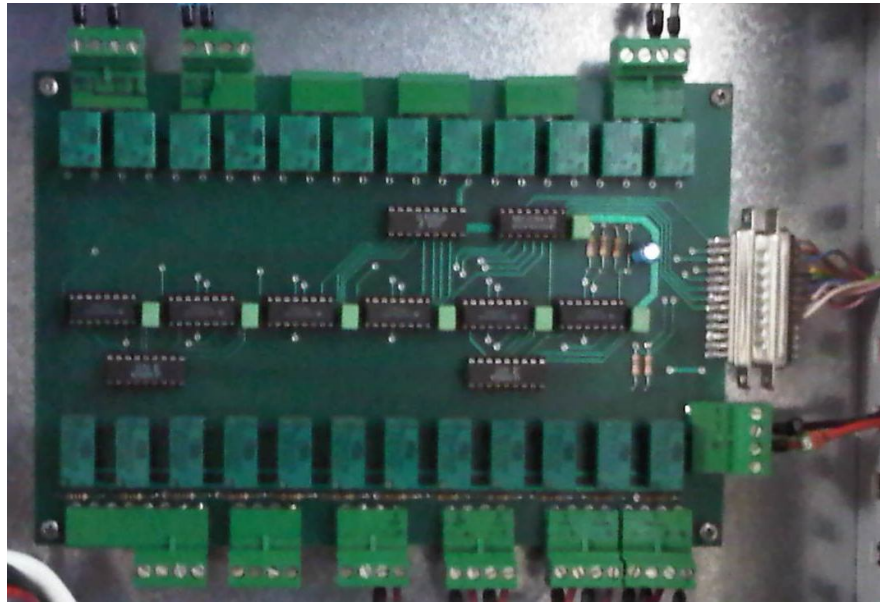
Apéndice A. 24: Fotografía de las Tarjetas Electrónicas ADE023A de la UDCA.



Apéndice A. 25: Fotografía del Controlador “Digitric P” de la UDCA.



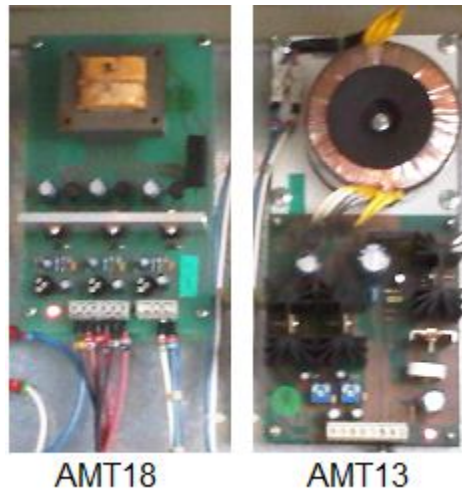
Apéndice A. 26: Fotografía de la Tarjeta Electrónica EV021 de la UDCA.



Apéndice A. 27: Fotografía del Transformador (TC1) de la UDCA.



Apéndice A. 28: Fotografía de las Fuentes de Alimentación AMT18 y AMT13 de la UDCA.



Apéndice A. 29: Fotografía de un Filtro Eléctrico de la UDCA.



Apéndice A. 30: Fotografía de un Contactor de la UDCA.



Apéndice A. 31: Fotografía del Relé de Estado Sólido (SSR) de la UDCA.



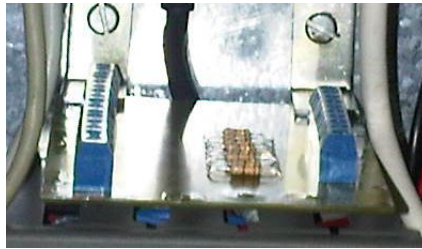
Apéndice A. 32: Fotografía del Diodo de la UDCA.



Apéndice A. 33: Fotografía de la Tarjeta Electrónica “NI USB-6009” de la UDCA.



Apéndice A. 34: Fotografía de la Tarjeta Electrónica “IA USB-6009” de la UDCA



Apéndice A. 35: Fotografía de la Tarjeta Electrónica “ID USB-6009” de la UDCA.



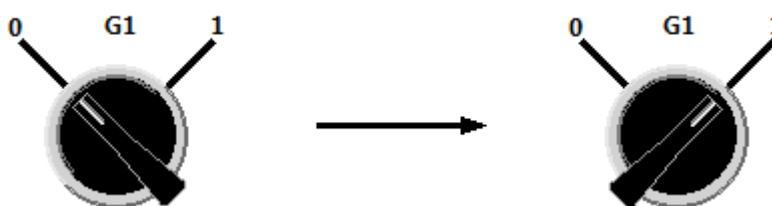
APÉNDICE B

Programación De La Bomba (G1) De La UDCA

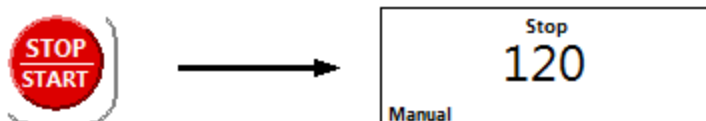
Apéndice B. 1: Pasos Para La Programación Digital De La Bomba (G1)

Nota: Si vas a trabajar el equipo en versión automatizada realizar la configuración de la bomba desde el paso "2.", ya que no hace falta encender la bomba.

1. Prender la bomba girando la perilla de la posición 0 a 1.



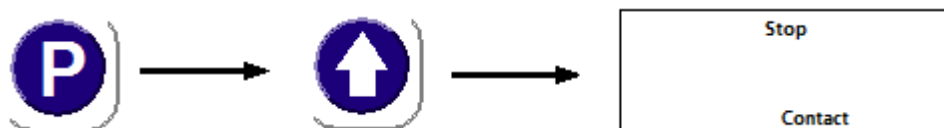
2. Parar la bomba en la tecla (STOP)



3. Pulsar la tecla (P) durante 2 segundos.



4. Pulsar la tecla (P) y seleccionar con la tecla de dirección (↑) la función “Contact”.



5. Pulsar la tecla (P) para confirmar.



6. Pulsar la tecla (P) para confirmar la opción de memoria “Men”.



7. Pulsar la (STAR) para arrancar la bomba.



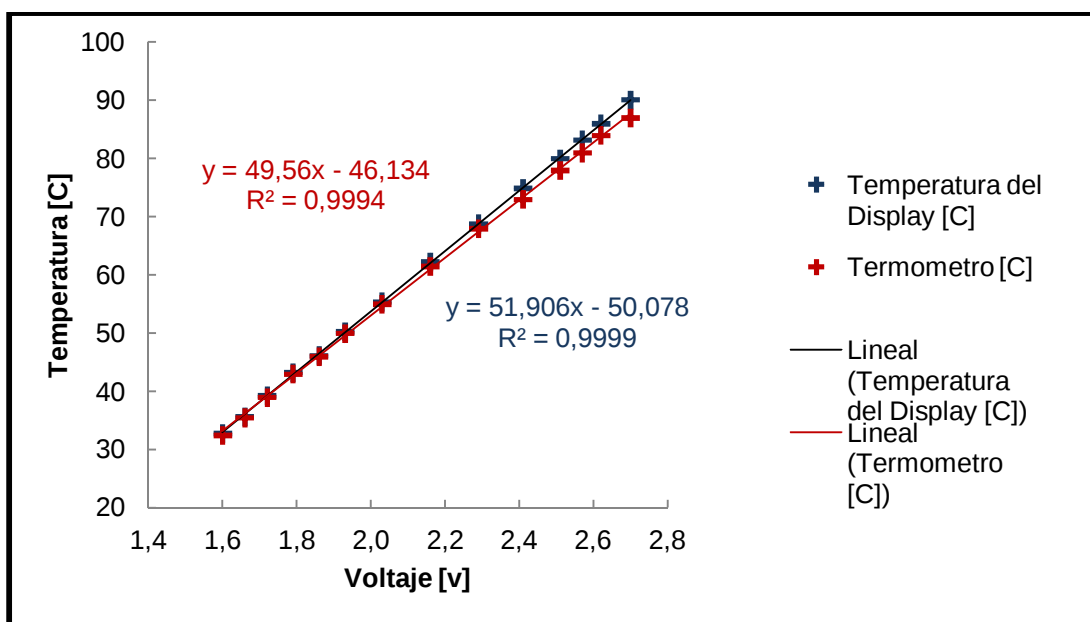
APÉNDICE C

Calibración De Señales Analógicas De La UDCA

En esta sección de los apéndices se mostraran las curvas de calibración obtenidas para cada señal de temperatura, así como también la presión diferencial, presión residual y caudal de agua de enfriamiento.

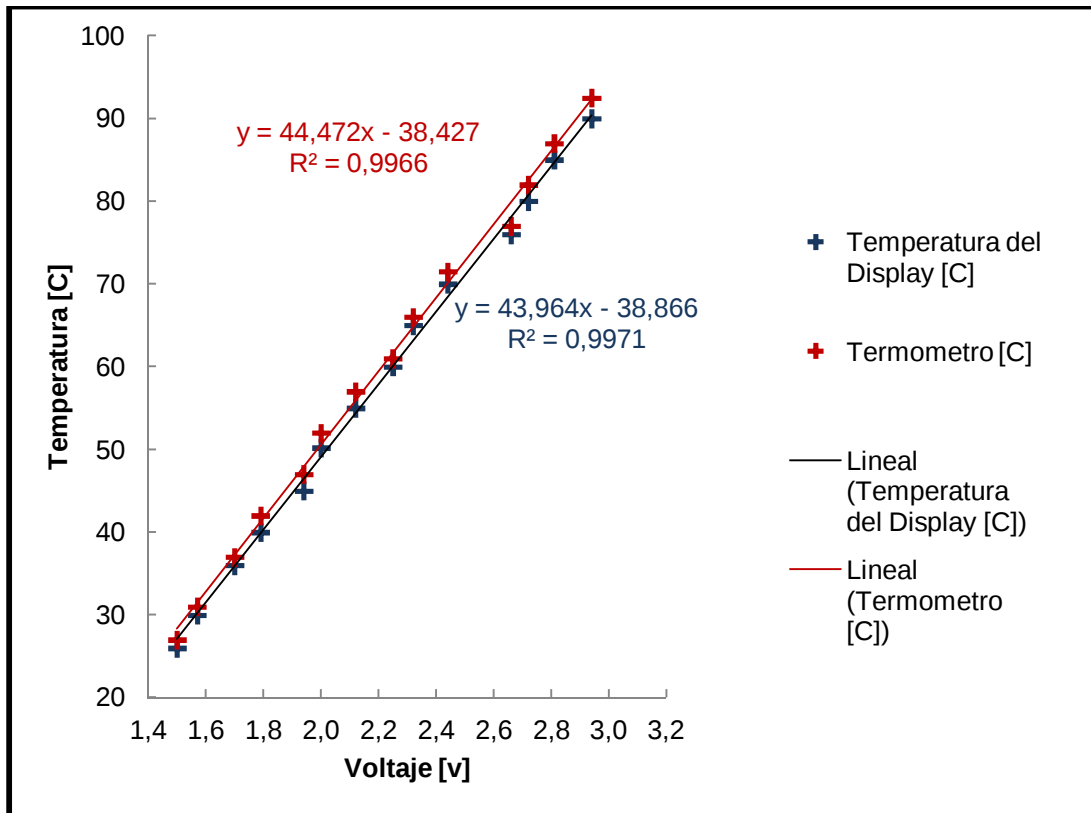
A continuación se muestra la curva de calibración realizada para la termorresistencia que se encuentra en el fondo del rehervidor (T1). Realizada colocando la termorresistencia en un sistema donde se midiera la temperatura del medio con un termómetro en función del voltaje visualizado de esta termorresistencia en la computadora. Además se realizó la comparación de con la temperatura registrada por el indicador electrónico que se encuentra en el panel de control.

Apéndice C. 1: Grafica de calibración de la Temperatura T1.



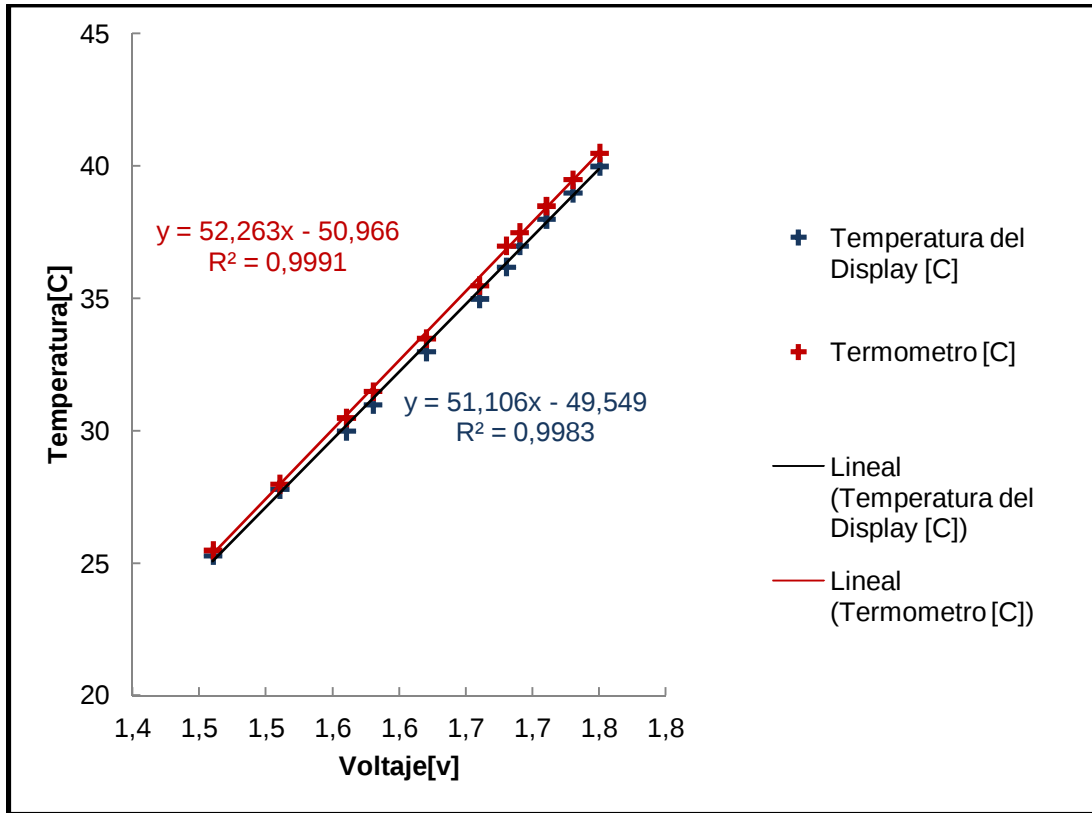
A continuación se muestra la curva de calibración efectuada para la termorresistencia que se encuentra en el sexto plato (T2). Esta calibración se realizó de igual forma que en la termorresistencia (T1).

Apéndice C. 2: Grafica de calibración de la Temperatura T2.



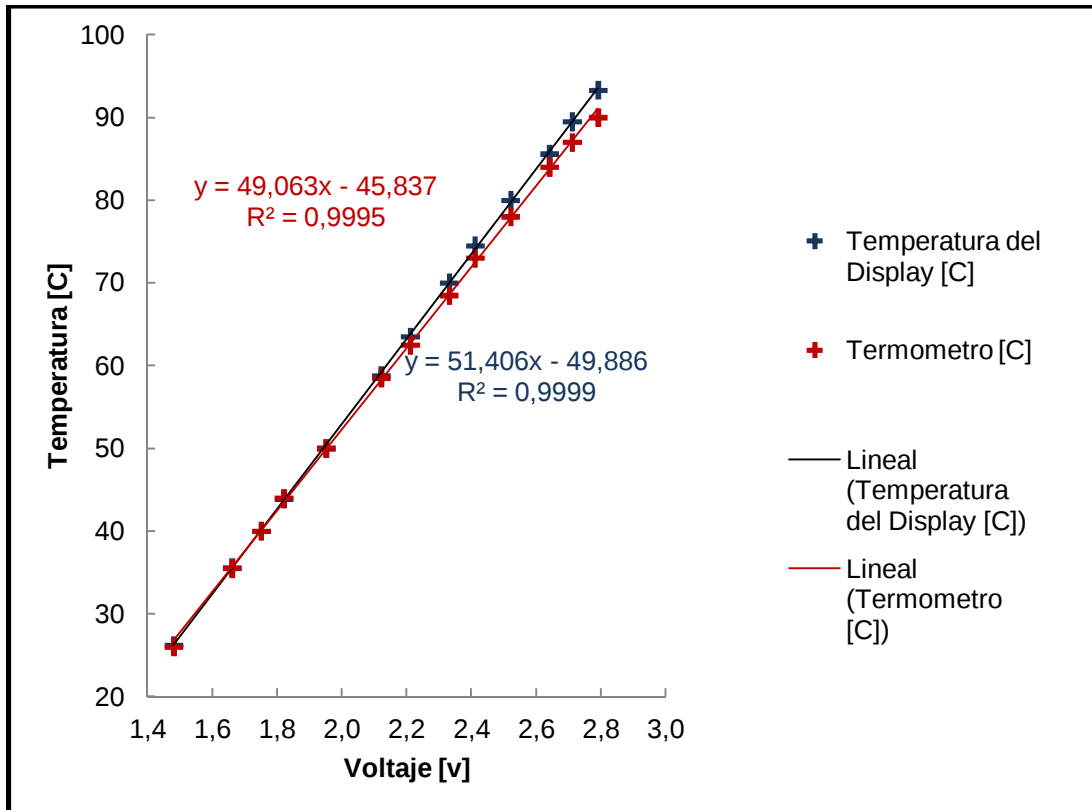
A continuación se muestra la curva de calibración realizada para la termorresistencia que se encuentra en el tercer plato (T3). Esta calibración se realizó de igual forma que en la termorresistencia (T1).

Apéndice C. 3: Grafica de calibración de la Temperatura T3.



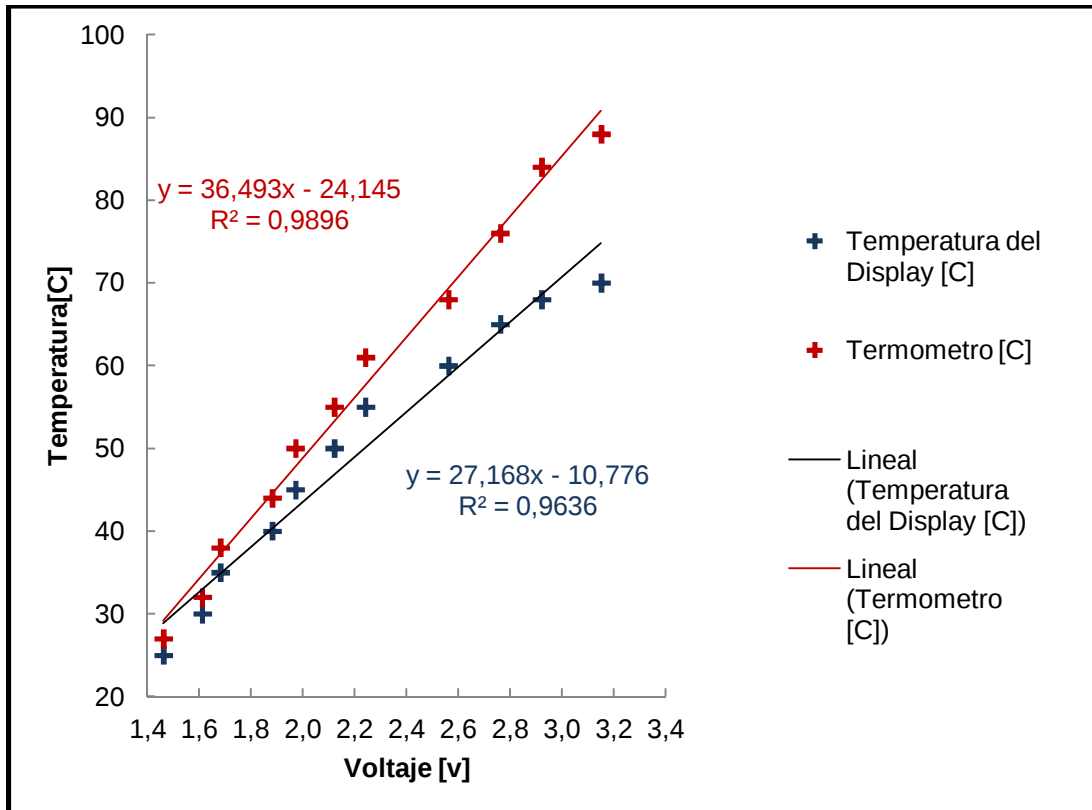
A continuación se muestra la curva de calibración realizada para la termorresistencia que se encuentra en a la entrada del condensador de tope (T4). Esta calibración se realizó de igual forma que en la termorresistencia (T1).

Apéndice C. 4: Grafica de calibración de la Temperatura T4.



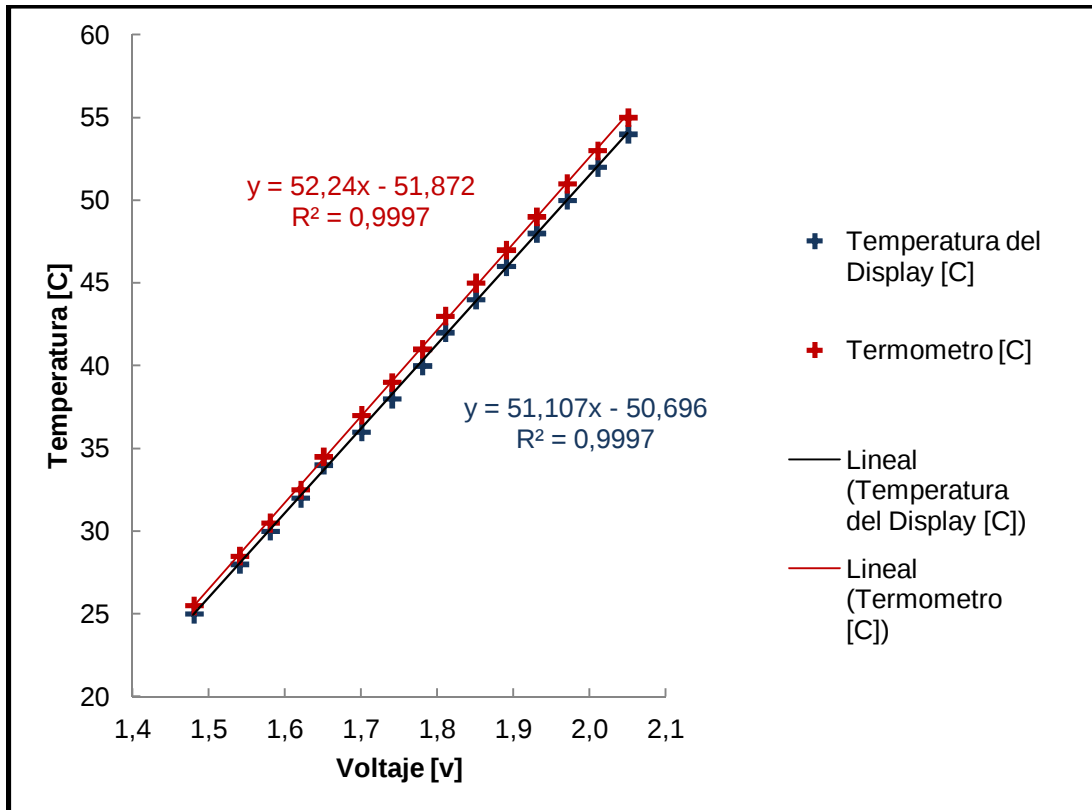
A continuación se muestra la curva de calibración realizada para la termorresistencia que se encuentra en entrada del agua de enfriamiento del condensador de tope (T5). Esta calibración se realizó de igual forma que en la termorresistencia (T1).

Apéndice C. 5: Grafica de calibración de la Temperatura T5.



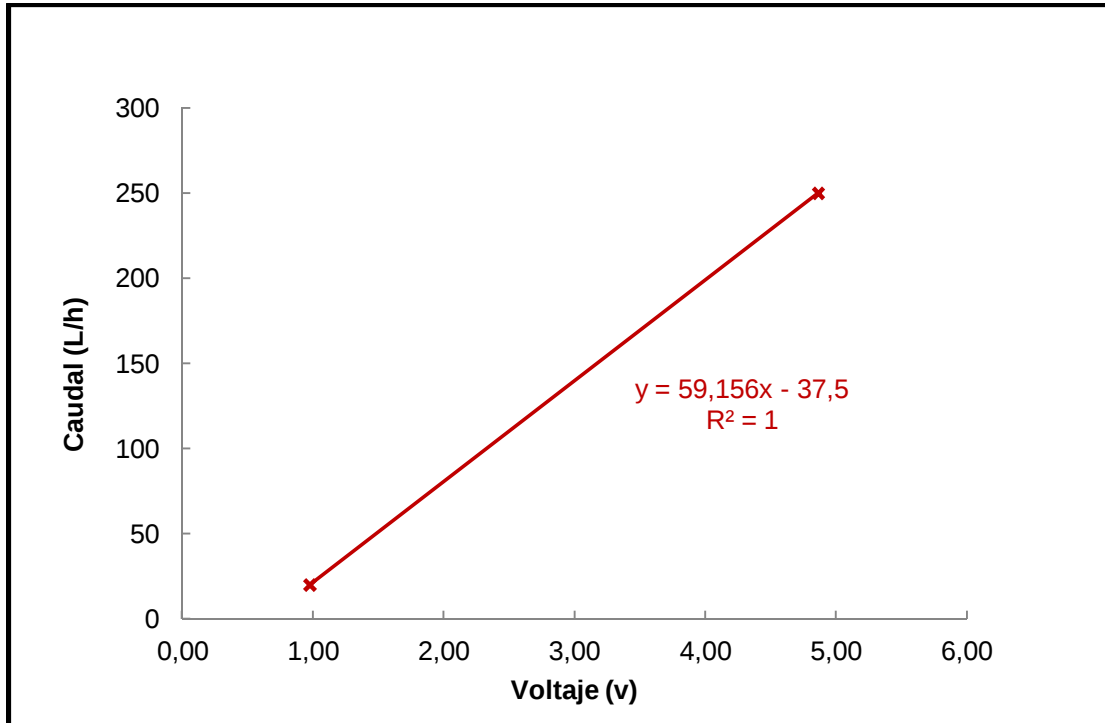
A continuación se muestra la curva de calibración realizada para la termorresistencia que se encuentra en la salida del agua de enfriamiento del condensador de tope (T6). Esta calibración se realizó de igual forma que en la termorresistencia (T1).

Apéndice C. 6: Grafica de calibración de la Temperatura T6.



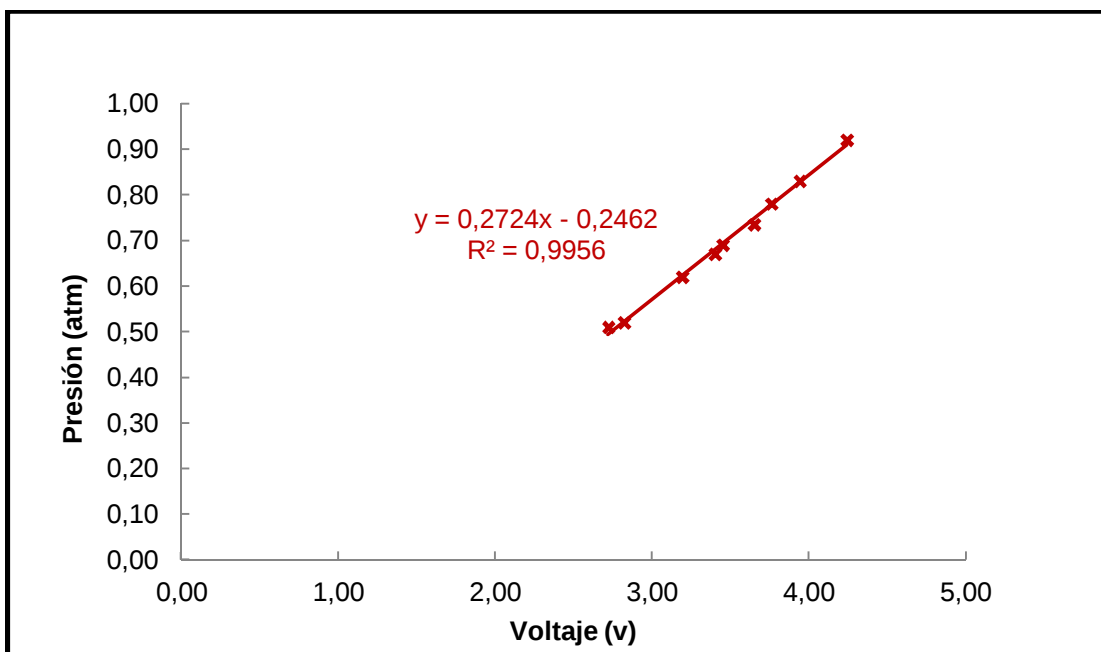
A continuación se muestra la curva de calibración realizada para la señal enviada por el medidor de flujo de la UDCA. Esta curva se creó con los datos proporcionados por el manual de Electronica Veneta, que dicen que el medidor envía una señal de 4-20mA en un rango de medición de 20-250L/h. estos datos fueron corroborados observando la medida de flujo que se puede visualizar en el medidor.

Apéndice C. 7: Grafica de calibración del caudal de agua de enfriamiento.



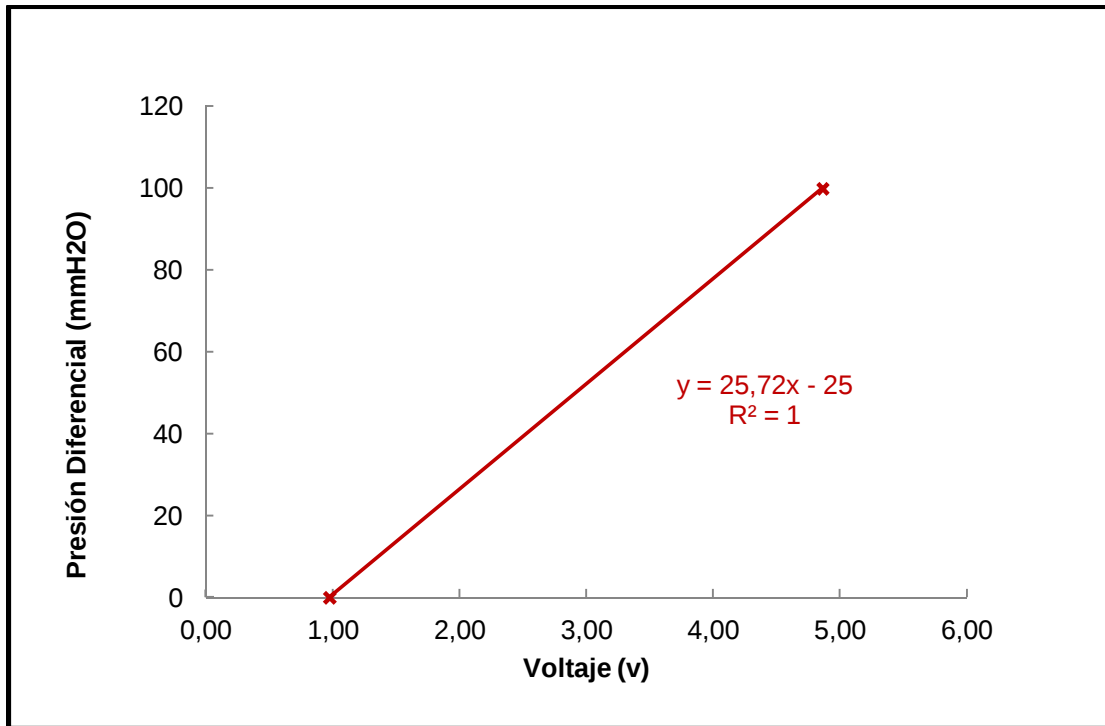
A continuación se muestra la curva de calibración realizada para la señal enviada por el medidor de presión residual de la UDCA. Esta curva se realizó haciendo vacío en la columna mediante la bomba de vacío y se fueron tomando los valores de la presión que registraba el Vacuómetro (los valores del Vacuómetro son presiones manométricas negativas, razón por la cual se le sumo la presión atmosférica para obtener la presión absoluta) en función del voltaje del medidor de presión que se visualizaba en la pantalla del computador.

Apéndice C. 8: Grafica de calibración de la Presión Residual de la UDCA.



A continuación se muestra la curva de calibración realizada para la señal enviada por el medidor de presión diferencial de la UDCA. Esta curva se creó con los datos proporcionados por el manual de Electronica Veneta, que dicen que el medidor envía una señal de 4-20mA en un rango de medición de 0-100mmH2O.

Apéndice C. 9: Grafica de calibración de la Presión Diferencial de la UDCA.

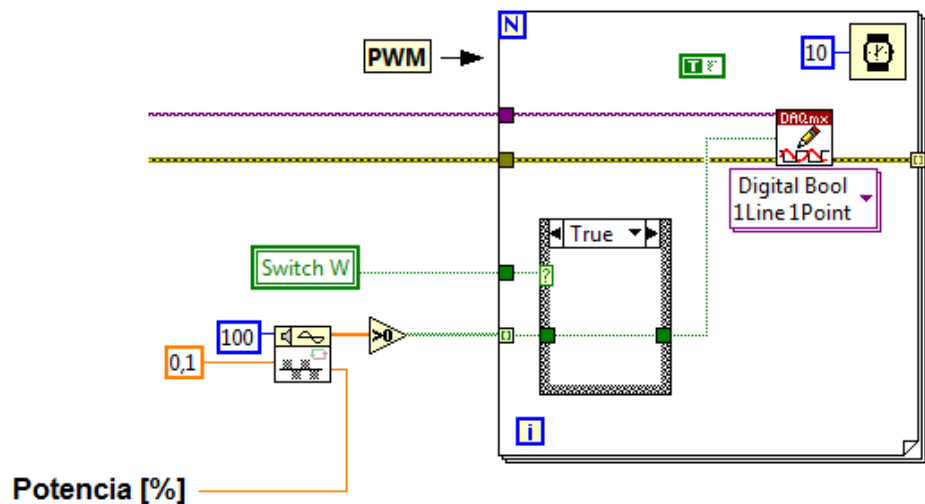


APÉNDICE D

Programación Del Método PWM Para El Control De La Potencia De La Resistencia Eléctrica De La UDCA

La **modulación de anchura de pulso**, abreviada como **PWM**, es un método de transmitir la información sobre una serie de pulsos. Los datos se están transmitiendo que se codifican en la anchura de estos pulsos para controlar la cantidad de energía que es enviada a una carga. Es decir la modulación de anchura de pulso es una técnica para generar pulsos variables para representar la amplitud de una señal análoga o de una onda de la entrada. Los usos populares de la modulación de anchura de pulso están en entrega de energía, regulación del voltaje y amplificación y los efectos audio (García & Arboleda, 2007).

Apéndice D. 1: Programación del método PWM en LabView.



La señal de porcentaje de potencia proveniente del controlador PID es enviada a la función “Square Wave VI”, la cual se encarga de convertir la señal de potencia en una la señal cuadrada, definiendo con anterioridad la frecuencia (0,1) y el numero de muestra (100). La señal cuadrada de salda que viene representada por valores de -1 y +1, es convertida en una señal booleana cuadrada booleana de potencia (que no es más que un array que contiene valores de True y False) es introducida en un a una For Loop (ciclo for), para ir extrayendo cada 10 mili segundos un valor, ya sea True o False la señal de potencia, con el fin de enviar este valor a la tarjeta de NI USB-6009 mediante la función DAQmx Write. Es importante definir con anterioridad el canal digital por el cual se va a enviar la señal booleana que va a la tarjeta.

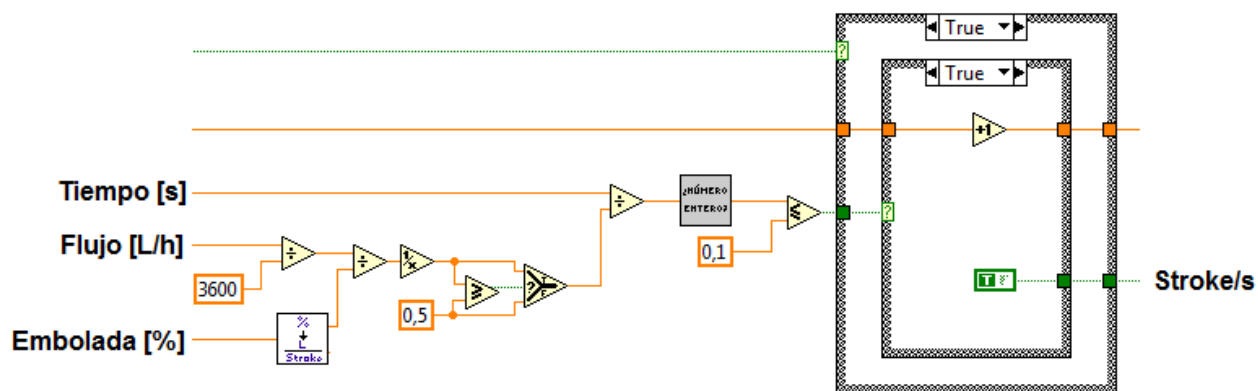
APÉNDICE E

Programación De La Señal De Pulsos Enviada A La Bomba De Alimentación De La UDCA

En esta sección del apéndice se muestra la programación de la señal que es enviada a la tarjeta de NI USB-6009 con el fin de controlar la bomba de alimentación, para que envíe un flujo de litros por hora, siendo este el caudal de la mezcla de alimentación que está ingresando a la columna.

Antes de mostrar el programa es necesario explicar que la bomba trabaja con un pistón que empuja el fluido, siendo un stroke o pulso el recorrido que el pistón hace desde su posición inicial empujando el fluido y regresando a su posición inicial. También es necesario saber que la bomba tiene la capacidad para enviar un máximo 2 pulsos (stroke) por cada segundo.

Apéndice E. 1: Programación de la señal enviada a la bomba de alimentación de la UDCA.



Lo primero que este programa realiza es ingresar la señal de la embolada a un SubVI que se encarga de escoger mediante una tabla el valor de L/stroke que la bomba envía para esa embolada. Luego el flujo que es ingresado por el usuario es convertido a L/s, para luego ser dividido nuevamente con el valor de L/stroke, dando como resultado la cantidad de stroke que debe ser enviado a la bomba cada segundo. Si este valor de stroke/s es mayor a 2, el programa automáticamente coloca 2, para evitar que la bomba se pare por recibir más de 2 stroke/s. al programa ingresa un contador de segundos que cuenta el tiempo desde que se ejecuta el programa, este tiempo es dividido al valor inverso obtenido de stroke/s dando como resultado un valor de stroke que es ingresado en SubVI para

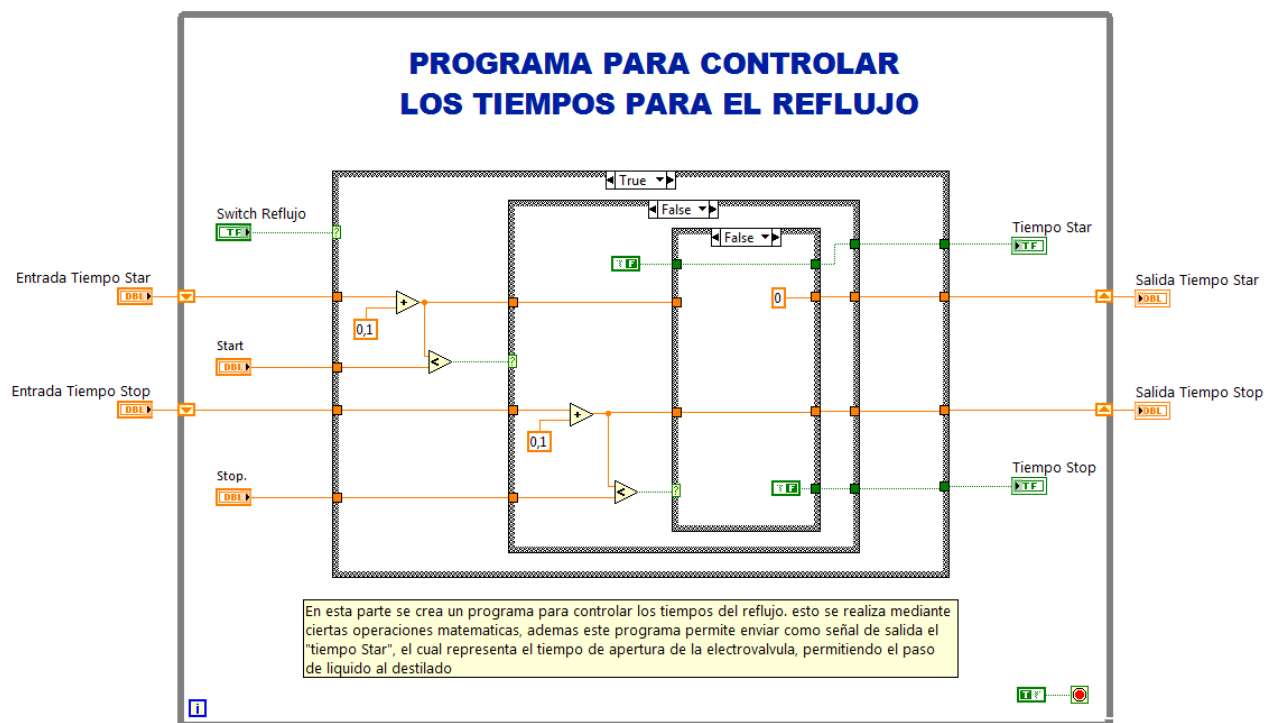
determinar si es un valor entero, y si esta condición se cumple quiere decir que se enviara una señal de pulso a la función DAQmx Write, para esta a su vez enviar la señal a la tarjeta NI USB-6009.

APÉNDICE F

Programación De La Señal Digital Equivalente A Los Tiempos De La Electroválvula De La UDCA.

En esta sección de los apéndices se muestra la programación del la señal que será enviada a la tarjeta de NI USB-6009 para activar y desactivar la electroválvula, mediante el SubVI (Relacion_Reflujo_Tiempos.vi).

Apéndice F. 1: Programación de la señal de enviada a la electroválvula



El Apéndice F. 1 muestra el SubVI llamado por el programa principal (Disp_Torre_Destilacion.vi) definir la señal booleana del Tiempo de Star, la cual es la señal que es enviada a la tarjeta de NI USB-6009, por medio de la función DAQmx Write. Cuando esta señal tenga un valor TRUE la electroválvula se mantendrá abierta y por consiguiente cuando sea FALSE la electroválvula se mantendrá apagada. Para generar esta señal se procedió a utilizar dos contadores numéricos, un contador para el tiempo Star, el cual se encarga se le sumara 0,1 segundo cada ciclo cuando, cada vez que se cumpla la condición, de que el valor de este contador sea menor que el tiempo que ingresa el usuario como tiempo STAR, la señal enviada a la tarjeta será TRUE, pero cuando esta condición resulte falsa, la señal enviada a la tarjeta será FALSE y se empezará a contar el tiempo en el contador del

tiempo Stop, cumpliendo con las mismas condiciones que para el contador del tiempo Star, cuando el tiempo del contador stop sea mayor al tiempo que ingresa el usuario como tiempo STOP, se inicia nuevamente el ciclo del contador Star, teniendo este un valor inicial de 0, para poder cumplir con las condiciones mencionadas anteriormente. Repitiéndose una y otra vez este ciclo.

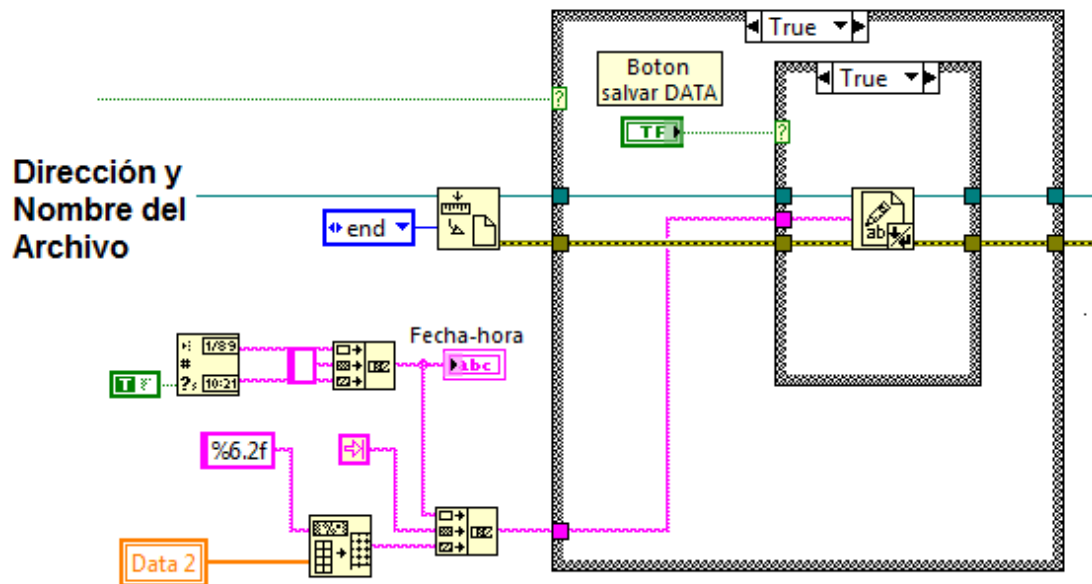
Es importante mencionar que para que el programa se ejecute en el tiempo correcto se debe agregar en el programa principal, dentro de la estructura `while` `loop` que contenga este SubVI (Relacion_Reflujo_Tiempos.vi), una función de tiempo llamada "Wait (ms)" con un tiempo de 100 que representara el tiempo en que tarda en ejecutarse el `while`.

APÉNDICE G

Programación Realizada Para El Respaldo (Salvado) De Los Datos.

En esta sección de los apéndices se muestra la programación importante para guardar las variables de la planta en un archivo de texto o TXT.

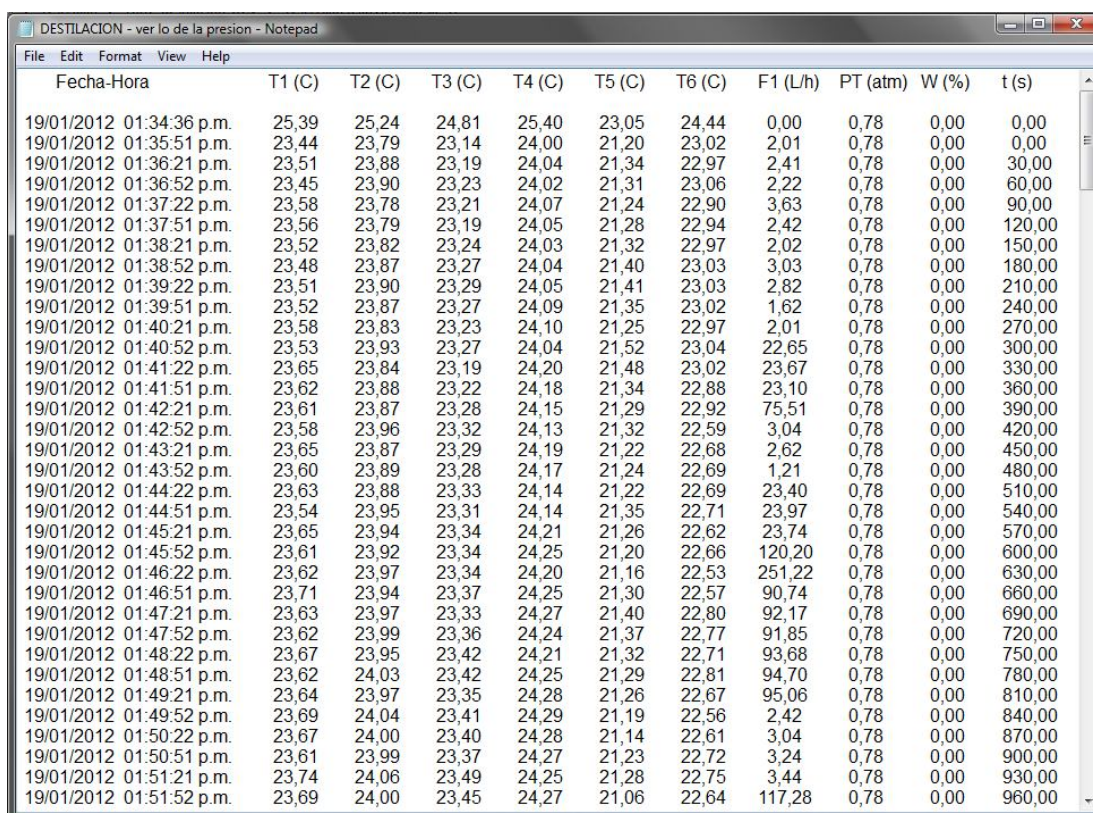
Apéndice G. 1: Programación Realizada Para El Respaldo (Salvado) De La Data



En esta parte del programa la data proveniente de la variable local “Data 2” es convertida en un array de strings, al que se le agrega la fecha y hora como información adicional. La dirección y el nombre del archivo ingresan en la función “Set File Position Function” que se encarga de colocar especificar el lugar donde se desea que se escriba, y par este caso debe escribir se escribe en la línea siguiente. La data tipo strings es enviada la función “Write to Text File Function” que es la que se encarga de escribir la información que viene en el array de strings, esta función escribe tomando el primer elemento y lo escribe en el archivo, luego coloca un espacio en blanco, para después escribir el siguiente elemento del arreglo y así sucesivamente, hasta que termine de escribir el último elemento del arreglo.

Además de lo mencionado anteriormente en este programa elige cada cuanto tiempo se guarda la data en el archivo.

Apéndice G. 2: imagen de un archivo texto con información de las variables de la planta.



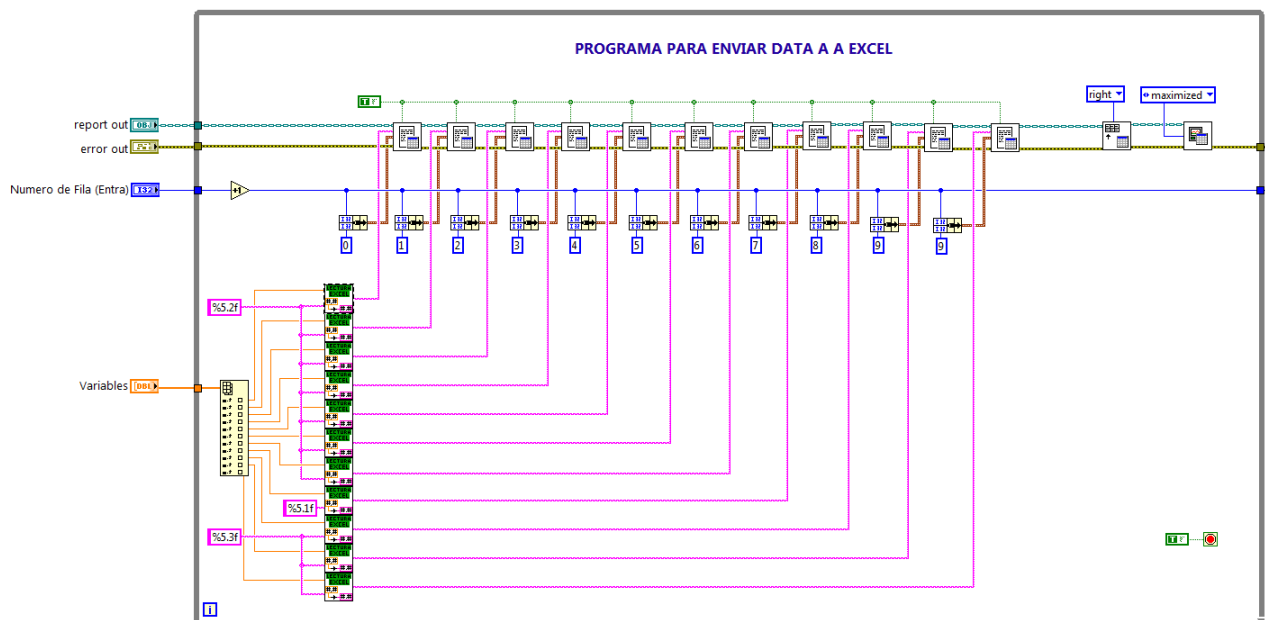
Fecha-Hora	T1 (C)	T2 (C)	T3 (C)	T4 (C)	T5 (C)	T6 (C)	F1 (L/h)	PT (atm)	W (%)	t (s)
19/01/2012 01:34:36 p.m.	25,39	25,24	24,81	25,40	23,05	24,44	0,00	0,78	0,00	0,00
19/01/2012 01:35:51 p.m.	23,44	23,79	23,14	24,00	21,20	23,02	2,01	0,78	0,00	0,00
19/01/2012 01:36:21 p.m.	23,51	23,88	23,19	24,04	21,34	22,97	2,41	0,78	0,00	30,00
19/01/2012 01:36:52 p.m.	23,45	23,90	23,23	24,02	21,31	23,06	2,22	0,78	0,00	60,00
19/01/2012 01:37:22 p.m.	23,58	23,78	23,21	24,07	21,24	22,90	3,63	0,78	0,00	90,00
19/01/2012 01:37:51 p.m.	23,56	23,79	23,19	24,05	21,28	22,94	2,42	0,78	0,00	120,00
19/01/2012 01:38:21 p.m.	23,52	23,82	23,24	24,03	21,32	22,97	2,02	0,78	0,00	150,00
19/01/2012 01:38:52 p.m.	23,48	23,87	23,27	24,04	21,40	23,03	3,03	0,78	0,00	180,00
19/01/2012 01:39:22 p.m.	23,51	23,90	23,29	24,05	21,41	23,03	2,82	0,78	0,00	210,00
19/01/2012 01:39:51 p.m.	23,52	23,87	23,27	24,09	21,35	23,02	1,62	0,78	0,00	240,00
19/01/2012 01:40:21 p.m.	23,58	23,83	23,23	24,10	21,25	22,97	2,01	0,78	0,00	270,00
19/01/2012 01:40:52 p.m.	23,53	23,93	23,27	24,04	21,52	23,04	22,65	0,78	0,00	300,00
19/01/2012 01:41:22 p.m.	23,65	23,84	23,19	24,20	21,48	23,02	23,67	0,78	0,00	330,00
19/01/2012 01:41:51 p.m.	23,62	23,88	23,22	24,18	21,34	22,88	23,10	0,78	0,00	360,00
19/01/2012 01:42:21 p.m.	23,61	23,87	23,28	24,15	21,29	22,92	75,51	0,78	0,00	390,00
19/01/2012 01:42:52 p.m.	23,58	23,96	23,32	24,13	21,32	22,59	3,04	0,78	0,00	420,00
19/01/2012 01:43:21 p.m.	23,65	23,87	23,29	24,19	21,22	22,68	2,62	0,78	0,00	450,00
19/01/2012 01:43:52 p.m.	23,60	23,89	23,28	24,17	21,24	22,69	1,21	0,78	0,00	480,00
19/01/2012 01:44:22 p.m.	23,63	23,88	23,33	24,14	21,22	22,69	23,40	0,78	0,00	510,00
19/01/2012 01:44:51 p.m.	23,54	23,95	23,31	24,14	21,35	22,71	23,97	0,78	0,00	540,00
19/01/2012 01:45:21 p.m.	23,65	23,94	23,34	24,21	21,26	22,62	23,74	0,78	0,00	570,00
19/01/2012 01:45:52 p.m.	23,61	23,92	23,34	24,25	21,20	22,66	120,20	0,78	0,00	600,00
19/01/2012 01:46:22 p.m.	23,62	23,97	23,34	24,20	21,16	22,53	251,22	0,78	0,00	630,00
19/01/2012 01:46:51 p.m.	23,71	23,94	23,37	24,25	21,30	22,57	90,74	0,78	0,00	660,00
19/01/2012 01:47:21 p.m.	23,63	23,97	23,33	24,27	21,40	22,80	92,17	0,78	0,00	690,00
19/01/2012 01:47:52 p.m.	23,62	23,99	23,36	24,24	21,37	22,77	91,85	0,78	0,00	720,00
19/01/2012 01:48:22 p.m.	23,67	23,95	23,42	24,21	21,32	22,71	93,68	0,78	0,00	750,00
19/01/2012 01:48:51 p.m.	23,62	24,03	23,42	24,25	21,29	22,81	94,70	0,78	0,00	780,00
19/01/2012 01:49:21 p.m.	23,64	23,97	23,35	24,28	21,26	22,67	95,06	0,78	0,00	810,00
19/01/2012 01:49:52 p.m.	23,69	24,04	23,41	24,29	21,19	22,56	2,42	0,78	0,00	840,00
19/01/2012 01:50:22 p.m.	23,67	24,00	23,40	24,28	21,14	22,61	3,04	0,78	0,00	870,00
19/01/2012 01:50:51 p.m.	23,61	23,99	23,37	24,27	21,23	22,72	3,24	0,78	0,00	900,00
19/01/2012 01:51:21 p.m.	23,74	24,06	23,49	24,25	21,28	22,75	3,44	0,78	0,00	930,00
19/01/2012 01:51:52 p.m.	23,69	24,00	23,45	24,27	21,06	22,64	117,28	0,78	0,00	960,00

APÉNDICE H

Programación Realizada Para Reportar Variables En Excel En Tiempo Real

En esta sección se muestra la programación realizada para publicar la data en un archivo de Excel en tiempo real.

Apéndice H. 1: Programación Realizada Para Reportar Variables En Excel En Tiempo Real



En el Apéndice H. 1: Programación Realizada Para Reportar Variables En Excel En Tiempo Real se observa que las variables de la planta (control de color anaranjado), las cuales vienen en un array, son separadas y convertidas en SubVI a variables de strings, pero donde los valores decimales son representados por punto y no coma (se representa como #.# en vez de #,#), esto se realiza para que en el momento que Excel lea estas variables las represente como un número y no como un texto. Los valores de las variables tipo strings son enviados a la función "Excel Easy Text VI" que es la encargada de escribir la información en la celda definida por en un cluster por el numero de la fila y el numero de la columna. Después de que todas las variables son escritas en el documento de Excel, se procede a usar dos funciones, una función "Excel Set Cell Alignment VI" que se encarga de alinear los datos a la derecha de la celda; y la otra función "Excel Bring to Front VI" que se encarga de maximizar la ventana de Excel.

Es importante mencionar que lo primero que hay que realizar antes de aplicar este modulo es utilizar la función “New Report VI” para abrir el archivo de Excel, en donde serán publicados los valores de las variables de la planta.

APÉNDICE I

***Manual De Operación De Los Programas (Disp_Torre_Destilacion y
Lectura_UDP) De La UDCA***

Introducción al Disp_Torre_Destilacion

¿Qué es Disp_Torre_Destilacion?

Disp_Torre_Destilacion es un programa que permite realizar el monitoreo y control de la unidad de destilación continua automatizada que se encuentra en la Escuela De Ingeniería Química de la Universidad Central De Venezuela. Permitiendo visualizar las variables de la planta en tiempo real, así como también manejar diferentes instrumentos como bombas, resistencia eléctrica, entre otros.

¿Cómo fue creado Disp_Torre_Destilacion?

Disp_Torre_Destilacion fue creado haciendo uso de la programación gráfica. Para esto, se utilizó el lenguaje de programación LabView. El programa fue desarrollado principalmente para la adquisición de las variables de la planta (5 temperaturas, 2 presiones y 1 caudal)

Adicionalmente, la interfaz del programa fue creada con un diseño innovador y de fácil entendimiento para cualquier usuario que utilice el programa.

Donde los datos que el usuario ingresa en el programa están representados por un cuadro blanco y los datos observados con un cuadro azul

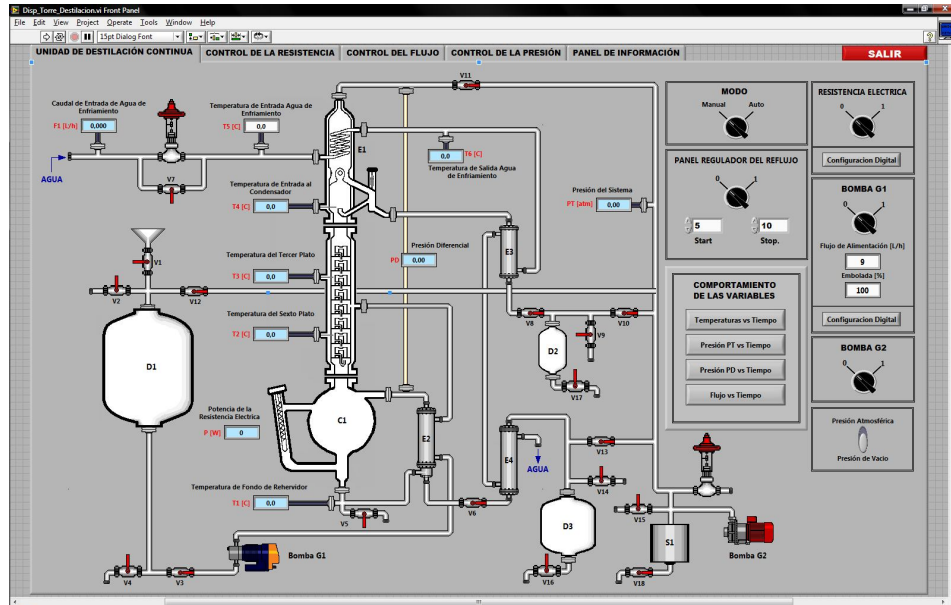
Usos del Disp_Torre_Destilacion

¿Cómo abrir y correr el programa?

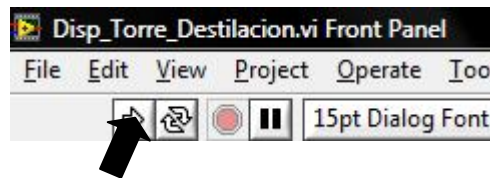
Primero debe conectar el cable de la tarjeta de adquisición y envío de datos, a uno de los puertos USB de la computadora como se muestra a continuación.



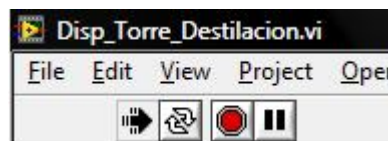
Luego para iniciar el programa sólo debe abrirse el archivo de LabView llamado Disp_Torre_Destilacion.vi y aparecerá la siguiente pantalla.



Luego se debe presionar con el mouse la tecla RUN.



Y se empezará a ejecutar el programa.



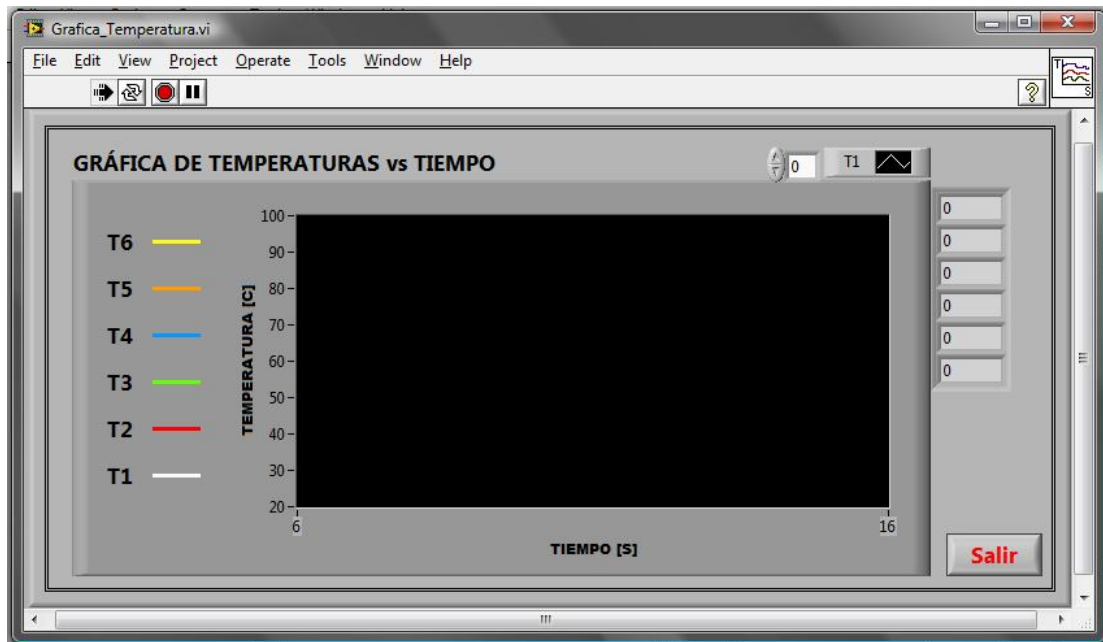
¿Cómo visualizar las graficas de las variables vs el tiempo?

Primero se debe asegurarse de estar en la pestaña denominada "UNIDAD DE DESTILACION CONTINUA".

Luego debe presionar cada el botón de la variable que desea observar cómo se muestra a continuación.



Y aparecerá automáticamente la grafica seleccionada.

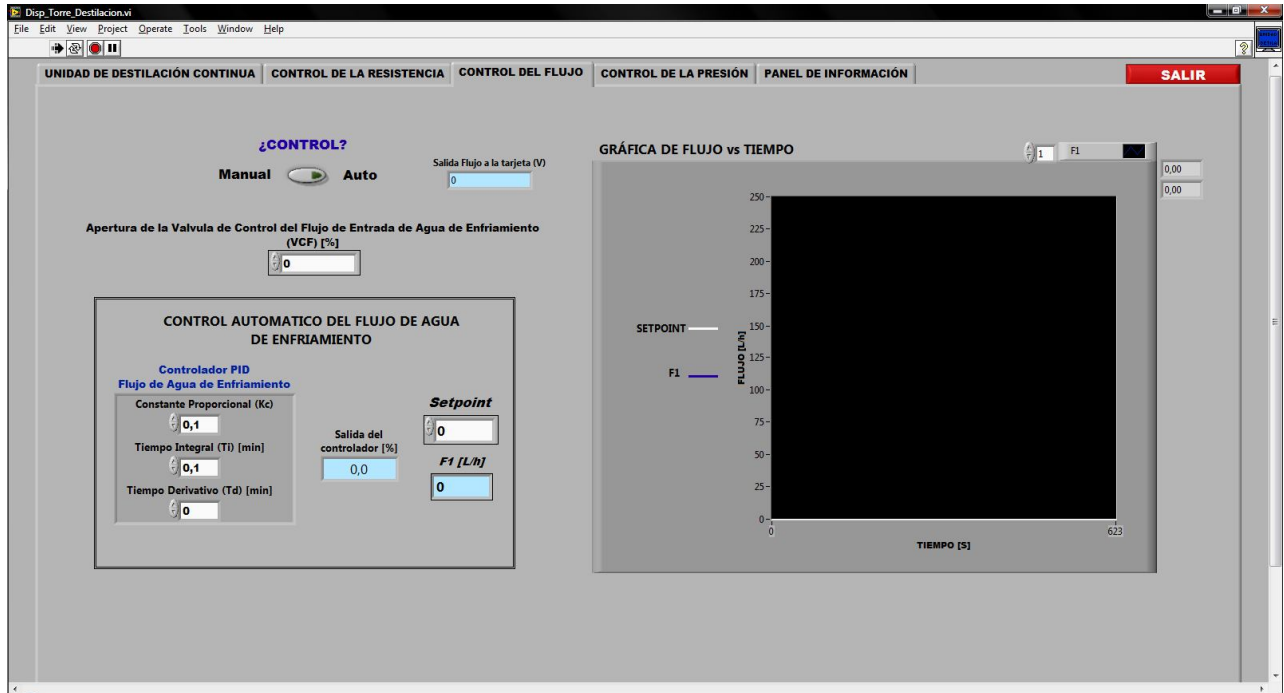


¿Cómo cerrar las graficas de las variables vs el tiempo?

Para cerrar las gráficas solo debes presionar en el botón salir y automáticamente desaparecerán.

¿Cómo utilizar el control del flujo?

Primero se debe ingresar en la pestaña “CONTROL DE FLUJO”, visualizándose la siguiente pantalla.



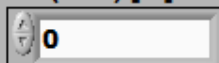
En esta pantalla se puede realizar el control de forma manual o automática presionando el siguiente botón.



Cuando el botón se encuentra apagado el control es manual y cuando se encuentre prendido el control es automático.

Si el botón está apagado se puede definir el porcentaje de apertura de la válvula VCF en el siguiente recuadro.

Apertura de la Valvula de Control del Flujo de Entrada de Agua de Enfriamiento (VCF) [%]



NOTA: si el botón de control se encuentra encendido el valor que se coloque en la apertura de la válvula VCF no estará realizando ningún efecto, ya que solo actúan los parámetros del controlador PID.

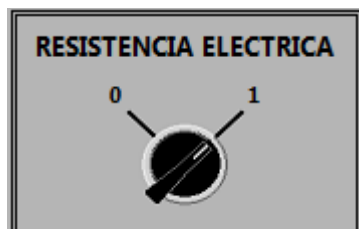
Si el botón de control se encuentra prendido los parámetros de control se pueden definir escribiendo el numero deseado en cada uno de sus recuadros respectivos.

¿Cómo utilizar el control del Presión?

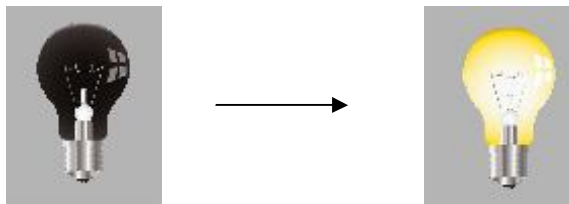
Este control se utiliza de la misma forma que el control anterior.

¿Cómo utilizar el control de la Resistencia Eléctrica?

Se utiliza de la misma forma que el control de flujo pero se debe estar pendiente que la resistencia se encuentre energizada. Para esto se debe colocar el switch que se encuentra en la pestaña “UNIDAD DE DESTILACION CONTINUA” como se muestra en la siguiente figura.

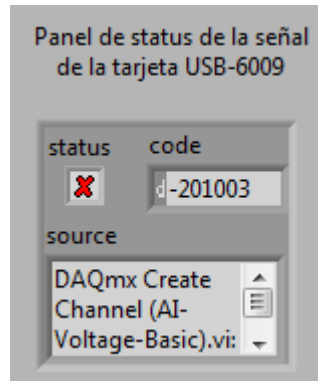


Al encontrarse la resistencia en posición 1, en la pestaña del “CONTROL DE LA RESISTENCIA” se puede observar como el bombillo cambia su estado de apagado a encendido.



¿Qué hacer en la pestaña “PANEL DE INFORMACIÓN”?

En esta pestaña se pueden visualizar los recuadros de errores de la adquisición y envío de datos a través de la tarjeta NI USB-6009, en donde un error es representado con un x roja en su status.



Nota: Este error -201003 mostrado anteriormente es muy común y quiere decir que no existe comunicación entre la tarjeta USB-6009 y el programa.

Además de visualizar los recuadros de errores existen dos funciones muy importantes como lo son la función de reporte en EXCEL en tiempo real, y la función de salvar la data en un archivo de texto.

¿Cómo se puede salvar los valores de las variables en el tiempo?

Para salvar los valores solo se debe ingresar en la pestaña “PANEL DE INFORMACIÓN” y encender el botón de salvar data.

SALVAR LA DATA



DIRECCION DEL ARCHIVO

NOMBRE DEL ARCHIVO GENERADO

Fecha-hora

Tiempo (s)

Tiempo de Guardado (S)

En ese panel denominado “SALVAR LA DATA” se puede cambiar el nombre del archivo de texto donde se guarda la data, así como también definir cada cuanto tiempo se guarda la data (Tiempo de guardado).

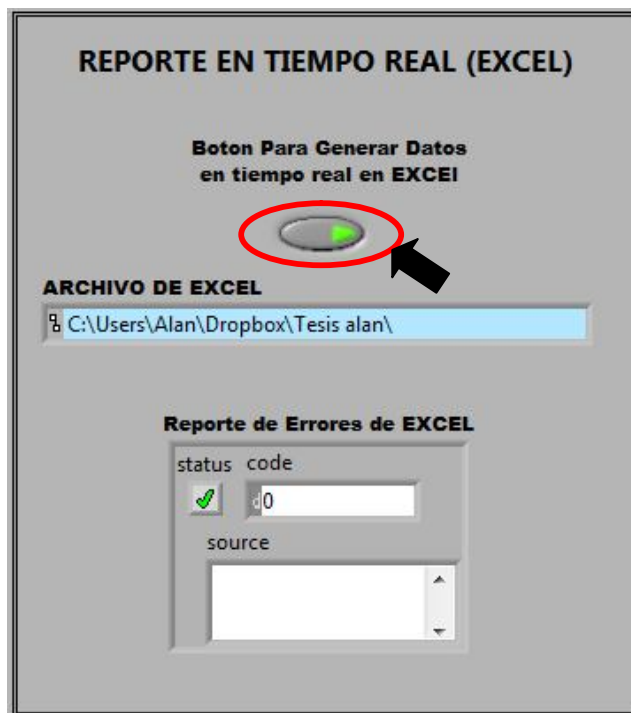
El archivo de texto que se utiliza para guardar la data siempre se encontrara en la carpeta donde se encuentre el programa **Disp_Torre_Destilacion** y al cerrar este programa se puede buscar el archivo de **DESTILACION.txt** para abrirlo y observar las variables de la planta.

DESTILACION - ver lo de la presion - Notepad

Fecha-Hora	T1 (C)	T2 (C)	T3 (C)	T4 (C)	T5 (C)	T6 (C)	F1 (L/h)	PT (atm)	W (%)	t(s)
19/01/2012 01:34:36 p.m.	25,39	25,24	24,81	25,40	23,05	24,44	0,00	0,78	0,00	0,00
19/01/2012 01:35:51 p.m.	23,44	23,79	23,14	24,00	21,20	23,02	2,01	0,78	0,00	0,00
19/01/2012 01:36:21 p.m.	23,51	23,88	23,19	24,04	21,34	22,97	2,41	0,78	0,00	30,00
19/01/2012 01:36:52 p.m.	23,45	23,90	23,23	24,02	21,31	23,06	2,22	0,78	0,00	60,00
19/01/2012 01:37:22 p.m.	23,58	23,78	23,21	24,07	21,24	22,90	3,63	0,78	0,00	90,00
19/01/2012 01:37:51 p.m.	23,56	23,79	23,19	24,05	21,28	22,94	2,42	0,78	0,00	120,00
19/01/2012 01:38:21 p.m.	23,52	23,82	23,24	24,03	21,32	22,97	2,02	0,78	0,00	150,00
19/01/2012 01:38:52 p.m.	23,48	23,87	23,27	24,04	21,40	23,03	3,03	0,78	0,00	180,00
19/01/2012 01:39:22 p.m.	23,51	23,90	23,29	24,05	21,41	23,03	2,82	0,78	0,00	210,00
19/01/2012 01:39:51 p.m.	23,52	23,87	23,27	24,09	21,35	23,02	1,62	0,78	0,00	240,00
19/01/2012 01:40:21 p.m.	23,58	23,83	23,23	24,10	21,25	22,97	2,01	0,78	0,00	270,00
19/01/2012 01:40:52 p.m.	23,53	23,93	23,27	24,04	21,52	23,04	22,65	0,78	0,00	300,00
19/01/2012 01:41:22 p.m.	23,65	23,84	23,19	24,20	21,48	23,02	23,67	0,78	0,00	330,00
19/01/2012 01:41:51 p.m.	23,62	23,88	23,22	24,18	21,34	22,88	23,10	0,78	0,00	360,00

¿Cómo se puede observar el reporte en Excel de las variables en tiempo real?

Se debe ingresar en la pestaña “PANEL DE INFORMACIÓN” y encender el botón para generar datos en tiempo real en EXCEL como se muestra a continuación.



Al mismo instante de ser presionado el botón por primera vez se abre la ventana del archivo de Excel donde se visualizan las variables de la unidad de destilación continua.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Tiempo [s]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	T4 [C]	T5 [C]	T6 [C]	Flujo [L/h]	Presión [atm]	Potencia de la Resistencia [W]									
2	3988	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
3	3991	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
4	3992	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
5	3993	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
6	3994	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
7	3995	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
8	3996	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
9	3996	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
10	3997	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
11	3998	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
12	3999	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
13	4000	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
14	4001	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
15	4002	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
16	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
17	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
18	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
19	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
20	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
21	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
22	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
23	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
24	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
25	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
26	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
27	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
28	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
29	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
30	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
31	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0									

Nota: los datos de las variables se van agregando por fila y son actualizados cada segundo.

Introducción al Lectura_UDP

¿Qué es Lectura_UDP?

Lectura_UDP es un programa que permite realizar el monitoreo a distancia de la unidad de destilación continua automatizada que se encuentra en la Escuela De Ingeniería Química de la Universidad Central De Venezuela. Permitiendo solo la visualización las variables de la planta en tiempo real.

¿Cómo fue creado Lectura_UDP?

Lectura_UDP fue creado haciendo uso de la programación gráfica. Para esto, se utilizó el lenguaje de programación LabView. El programa fue desarrollado principalmente para la visualización de las variables de la plata, ya que estas son enviadas por la red un protocolo de comunicaciones llamado User Datagram Protocol (UDP)

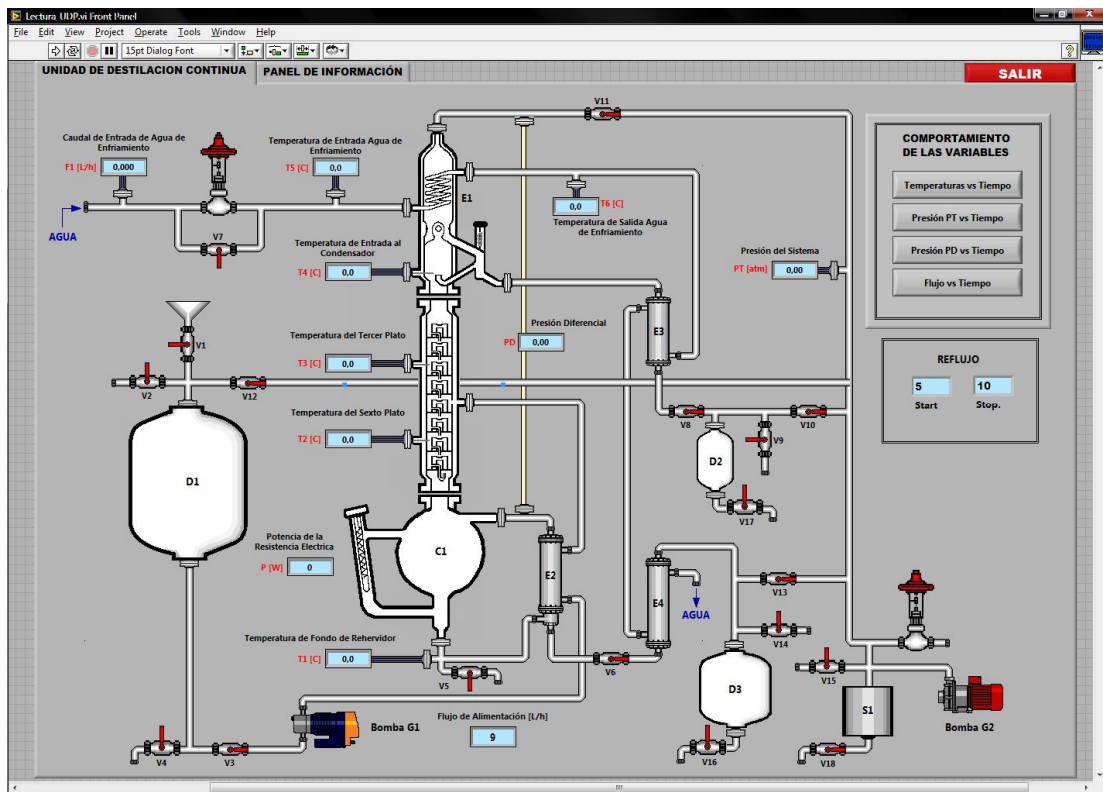
Adicionalmente, la interfaz del programa fue creada con un diseño innovador y de fácil entendimiento para cualquier usuario que utilice el programa.

Usos del Lectura_UDP

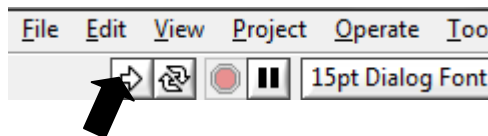
¿Cómo abrir y correr el programa?

Lo primero que se debe hacer antes de abrir este programa es asegurarse que el programa **Disp_Torre_Destilacion**, este siendo ejecutado de forma correcta en un computador, a demás se debe verificar que los computadores 1 y 2 donde se ejecutan los dos programas **Disp_Torre_Destilacion** y **Lectura_UDP** respectivamente tengan conexión a la red, es decir posean conexión a internet.

Para iniciar el programa sólo debe abrirse el archivo de LabView llamado **Lectura_UDP.vi** y aparecerá la siguiente pantalla.



Luego se debe presionar con el mouse la tecla RUN.



Y se empezará a ejecutar el programa.



¿Cómo visualizar las graficas de las variables vs el tiempo?

Las gráficas se pueden visualizar de la misma forma que para el programa **Disp_Torre_Destilacion**

¿Cómo cerrar las graficas de las variables vs el tiempo?

Para cerrar las gráficas solo debes presionar en el botón salir y automáticamente desaparecerán.

¿Qué hacer en la pestaña “PANEL DE INFORMACIÓN”?

En esta pestaña se puede observar el panel de error para la recepción de datos y las funciones de salvar data y reportar en Excel las variables en tiempo real.

¿Cómo se puede salvar los valores de las variables en el tiempo?

Esta función se realiza de la misma forma que en el programa **Disp_Torre_Destilacion**.

¿Cómo se puede observar el reporte en Excel de las variables en tiempo real?

Esta función se realiza de la misma forma que en el programa **Disp_Torre_Destilacion**.