

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Restauración y automatización de la torre de pared mojada
del laboratorio de operaciones unitarias

Trabajo de graduación presentado por Víctor Hugo Chinchilla
Godoy para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala,
2013

Restauración y automatización de la torre de pared mojada
del laboratorio de operaciones unitarias

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA


Facultad de Ingeniería

Restauración y automatización de la torre de pared mojada
del laboratorio de operaciones unitarias


Trabajo de graduación presentado por Victor Hugo
Chinchilla Godoy para optar al grado de Licenciado en
Ingeniería Electrónica

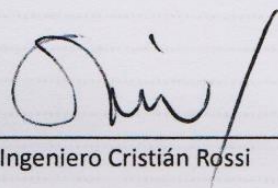
Guatemala,
2013

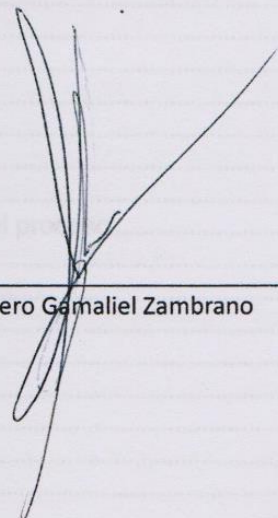
Vo. Bo

(f) 
Ingeniero Carlos Alberto Esquit

Tribunal

f) 
Ingeniero Carlos Alberto Esquit

f) 
Ingeniero Cristián Rossi

f) 
Ingeniero Gemalíel Zambrano

Guatemala, 2 de diciembre de 2013

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	x

Capítulos

I.INTRODUCCIÓN	i
II.MARCO TEÓRICO	2
A. CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN	2
1. Objetivos de la automatización.	2
2. Partes principales de un sistema automatizado.	2
B. Torre de pared mojada.....	12
1. Descripción de la torre de pared mojada.	12
2. Transferencia de masa en la fase gaseosa.	14
3. Diseño de una torre de pared mojada.	15
IV.JUSTIFICACIÓN.....	19
V.PROBLEMA A RESOLVER	21
VI.OBJETIVOS	22
A. GENERAL.....	22
B. ESPECÍFICOS.....	22
VII.DISEÑO EXPERIMENTAL	23
VIII.METODOLOGÍA.....	29
A. Restauración de la torre de pared mojada.....	29
B. Automatización	33
IX.RESULTADOS	38
A. Estructura.....	38
B. Instrumentación	41
C. control.....	58
D. Programación.....	66
E. Interfaz HMI	72
F. Resultados de operación del proceso	77
G. Costo del proyecto	80
X.DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
XI.CONCLUSIONES.....	94
XII.RECOMENDACIONES	95
XIII.BIBLIOGRAFÍA.....	96
XIV.ANEXOS.....	97
A. cotizaciones.....	98
B. Manual de usuario	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Micrologix® 1100.....	4
Figura 2. Vista de ejemplo RSlogix® 500.....	5
Figura 3. Vista ejemplo FactoryTalk®.....	6
Figura 4. Diagrama de circuito RTD.....	7
Figura 5. Sensor de presión.....	8
Figura 6. Balanza.....	9
Figura 7. Diagrama placa de orificio.....	10
Figura 8. Diagrama de válvula On/Off con solenoide.....	11
Figura 9. Variador de frecuencia.....	12
Figura 10. Diagrama de motor AC.....	12
Figura 11. Diagrama de la torre de pared mojada (propia elaborada en vicio)....	14
Figura 12. Partes de una torre de pared mojada.....	17
Figura 13. RTD utilizada en el proyecto.....	26
Figura 14. Indicador de presión.....	27
Figura 15. Plataforma de pesaje.....	28
Figura 16. Proceso de soldado de estructura.....	30
Figura 17. Estructura terminada.....	31
Figura 18. Distribuidor de líquido.....	32
Figura 19. Plano de vistas de estructura.....	39
Figura 20. Diagrama 3D de la estructura.....	40
Figura 21. Parte superior de la estructura.....	40
Figura 22. Parte inferior de la estructura.....	40
Figura 23. Diagrama P&ID.....	41
Figura 24. Relación de datos de temperatura con datos de PLC de la RTD de gas de entrada de bulbo seco.....	44
Figura 25. Relación de temperatura con datos de PLC de la RTD de entrada de gas con bulbo húmedo.....	45
Figura 26. Relación de temperatura con datos de PLC de la RTD de salida de gas con bulbo seco.....	47
Figura 27. Relación de temperatura de salida de gas con bulbo húmedo.....	48
Figura 28. Gráfico de relación de temperatura con datos de PLC de RTD de salida de líquido.....	49
Figura 29. Relación de temperatura con datos de PLC de RTD de salida de líquido para calibración.....	51
Figura 30. Relación de datos de PLC del sensor de presión de la torre con presiones dadas por el manómetro.....	53
Figura 31. Relación de datos de PLC del sensor de presión para velocidad con presión dada por manómetro.....	55
Figura 32. Gráfico de relación de datos de PLC con pesos para plataforma de pesaje en la entrada del líquido.....	56
Figura 33Cotización - Anclo.....	98

Figura 34 Cotización - Celasa	100
Figura 35 Cotización - Dilab.....	101
figura 36 Cotización - Intek 1	102
Figura 37 Cotización - Intek 2 (página 1 de 2).....	103
Figura 38 Cotización - Intek (página 2 de 2).....	104
Figura 39 Cotización - Intek 3.....	105
Figura 40 Cotización - Mainco, S.A.....	106
Figura 41 Cotización - Mangueras Industriales, S.A.....	107
Figura 42 Cotización - Novex.....	108
Figura 43 Cotización - Reset 1	109
Figura 44 Cotización - Reset 2	110
Figura 45 Cotización - Sipesa.....	111
Figura 46 Cotización - Talleres Hernández	112
Figura 47 Cotización - Empresa externa (página 1 de 2).....	114
Figura 48 Cotización - Empresa externa (página 2 de 2).....	115
Figura 49 Cotización – Compra directa	116
Figura 50 Compra directa (precio del equipo puesto en instalaciones)	117
Figura 51Cotización - Compra directa (precio CIF Guatemala).....	118
Figura 52Compra directa - especificaciones técnicas (página 1 de 4)	119
Figura 53 Compra directa - especificaciones técnicas (página 2 de 4)	120
Figura 54 Compra directa - especificaciones técnicas (página 3 de 4)	121

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de operación para cada variable a medir en torre de pared mojada	34
Tabla 2. Sensores seleccionados para cada una de las variables a medir en la torre de pared mojada	35
Tabla 3. Dimensiones de la torre de pared mojada	38
Tabla 4. Dimensiones generales de la estructura de soporte	39
Tabla 5. Características de la instrumentación.....	42
Tabla 6. Características de los actuadores	43
Tabla 7. Datos de calibración de RTD de entrada de gas, bulbo seco	43
Tabla 8. Tabla de datos de verificación de RTD de entrada de gas con bulbo seco	44
Tabla 9. Datos de calibración de RTD de entrada de gas de bulbo húmedo	45
Tabla 10. Tabla de datos de verificación de RTD de entrada de gas de bulbo húmedo	45
Tabla 11. Datos de calibración de RTD salida de gas con bulbo seco.....	46
Tabla 12. Datos de verificación de calibración de RTD de salida de gas con bulbo seco	46
Tabla 13. Datos de calibración de RTD salida de gas con bulbo húmedo	47
Tabla 14. Datos de verificación de RTD de salida de gas de bulbo húmedo	48
Tabla 15. Datos de calibración de RTD de salida de líquido.....	49
Tabla 16. Datos de verificación de RTD de salida de líquido.....	50
Tabla 17. Datos de calibración de RTD de salida de líquido.....	50
Tabla 18. Datos de verificación de RTD de entrada de líquido.....	51
Tabla 19. Datos de calibración de sensor de presión de la torre	52
Tabla 20. Datos de verificación de sensor de presión de la torre	53
Tabla 21. Datos de calibración de sensor de presión para velocidad	54
Tabla 22. Datos de verificación de sensor de presión para velocidad de gas	55
Tabla 23. Datos de calibración de masa de líquido de entrada.....	56
Tabla 24. Datos de verificación de plataforma de pesaje de líquido de entrada .	56
Tabla 25. Datos de calibración de plataforma de pesaje de líquido de salida	57
Tabla 26 Costo de elaboración de planos	113
Tabla 27 Cotización de planos.....	113

RESUMEN

En este trabajo se documenta la restauración y automatización de la torre de pared mojada, ubicada en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. La torre de pared mojada es un equipo de laboratorio utilizado para realizar prácticas de transferencia de masa. Esta consiste básicamente en la creación de una pared de algún líquido en el interior de un tubo que hace pasar un flujo de gas en el interior del mismo, lo cual crea que las dos sustancias estén en contacto haciendo que parte del líquido sea transferido al gas o viceversa. Existe un número que nos da la relación de dicha transferencia llamado coeficiente de transferencia de masa.

Para determinar el coeficiente de transferencia de masa se midió la temperatura de entrada y salida del líquido, y la temperatura de bulbo seco y húmedo en la entrada y salida del gas. La diferencia de presión entre la entrada y salida de la torre también fue medida así como el flujo del gas. Un dato muy importante a tomar en cuenta para medir es la diferencia del líquido al inicio y al final de la práctica, esto se hizo midiendo la masa del mismo al inicio y al final mediante una balanza. Este dato es importante porque nos indica la cantidad exacta de líquido que fue transferido al gas.

Para realizar la automatización, primero se restauró la torre porque poseía fugas, le faltaban piezas y la instrumentación estaba dañada. Además se tenían nuevos requerimientos, como el hecho de que la estructura de soporte no podía medir más de 1 m² de área y 4m de alto, por lo que se debió hacer un rediseño de la estructura.

Con la torre restaurada, la automatización consistió en el cambio de la instrumentación de la torre por sensores electrónicos. Se cambiaron los termómetros de mercurio por RTD, las cuales nos proporcionan una señal eléctrica. El tubo de "u" para el diferencial de presión fue reemplazado por un sensor de presión diferencial por medio de membrana. Las mediciones que

sufrieron un cambio más significativo fue la forma de medir el peso del líquido inicial y final, dado que en vez de mover los tambos con líquido se colocaron balanzas fijas y para medir el flujo del gas, en lugar de ser medido con un anemómetro en la entrada de aire del ventilador, se colocó una placa de orificio en la salida del mismo y por medio de presión diferencial se obtuvo el flujo. Ello mejoró el proceso, dado que las medidas fueron de una forma directa y de esta forma se eliminó el error humano.

Como resultado de todo el trabajo realizado se obtuvo una torre de pared mojada que es controlada y monitoreada por un PLC con datos visibles desde un computador. Se determinó que la torre es funcional, dado que los resultados obtenidos, en comparación con los teóricos, tienen un 88% de correlación. Esto se consideró aceptable, pero se presentaron aspectos que no permitieron un 100% de correlación, como el hecho de que el coeficiente de fricción dentro de la torre varió considerablemente respecto al teórico.

I.INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es poder obtener una torre de pared mojada para que los estudiantes de Ingeniería Química puedan realizar prácticas de transferencia de masa, mediante la operación de esta torre. Al finalizar esta investigación los estudiantes podrán tener la experiencia de trabajar con una torre de pared mojada automatizada.

El proyecto consiste en la restauración y automatización de la torre de pared mojada, ubicada en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Actualmente la torre se encuentra deteriorada y no está en operación, esto se debe a que varias de sus partes están dañadas o fueron retiradas, posee fugas en algunas partes y no cuenta con los instrumentos de medición adecuados.

El trabajo se realizó en dos fases, restauración y posteriormente la automatización. En la restauración se arreglaron las partes que estaban dañadas y en las que se necesitaban mejoras y fueron reemplazadas por nuevas. La estructura de soporte se rediseñó, dado que se tienen nuevos requerimientos y se solicitó que ocupara un espacio máximo de 1m².

En la fase de automatización se cambiaron los instrumentos por instrumentos electrónicos, para poder tener una señal que ingresara a un PLC con el fin de visualizar y controlar la torre desde un computador. De esta manera la torre se podrá operar de forma manual y automática. En los dos casos los resultados podrán ser visualizados en la computadora: la diferencia consistirá en que, en modo manual, el estudiante podrá determinar la velocidad de entrada del aire y, en modo automático, ya estarán predeterminadas y estas variarán cada cierto período de tiempo establecido.

II.MARCO TEÓRICO

A.CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

Un sistema de control y automatización es el conjunto de dispositivos electrónico-mecánicos instalados en una secuencia, en la cual se busca cumplir ciertos objetivos.

1.Objetivos de la automatización. El objetivo de un sistema de control es mantener la variable controlada en el valor deseado, actuando sobre una variable manipulada para compensar los efectos de las perturbaciones que tiendan a alterar el proceso. Por ejemplo, si una válvula es manejada por un operador, entonces el control será manual. Este modo de control es válido cuando las perturbaciones son mínimas y cuando el proceso tiene escasa importancia. En caso contrario, la tarea debe confiarse a un elemento artificial llamado controlador, el cual se encargará de mantener automáticamente la variable controlada en el valor deseado, que se llama set-point, establecido previamente por el operador.

[1]

2.Partes principales de un sistema automatizado. Un sistema automatizado se puede dividir de la siguiente forma:

- Control
- Operación

a. Control: La parte de mando es un conjunto de software y hardware que controla todo el sistema. Esta obtiene información en tiempo real de los sensores y envía señales de control a los actuadores para que se regule la variable controlada.

El sistema de mando cuenta con diferentes componentes, los cuales generalmente son:

- PLC
- Comunicación
- HDMI

1)PLC. Un PLC es una computadora industrial, por sus siglas en inglés significa “Programmable Logic Controller”, lo que en español se traduce como “Control lógico programable”.

El PLC es el cerebro del sistema, es donde se ejecutan todos los cálculos y se toman decisiones, sobre la base de la información recibida por los sensores, para ejecutar determinadas acciones y así poder controlar las variables del proceso. Las características básicas de un PLC son:

- Capacidad de procesamiento
- Cantidad de memoria
- Tipos de I/O
- Cantidad de I/O
- Tipos de comunicación disponible

El PLC, como se puede observar en la siguiente imagen, es un elemento robusto y sencillo.

Figura 1. Micrologix® 1100

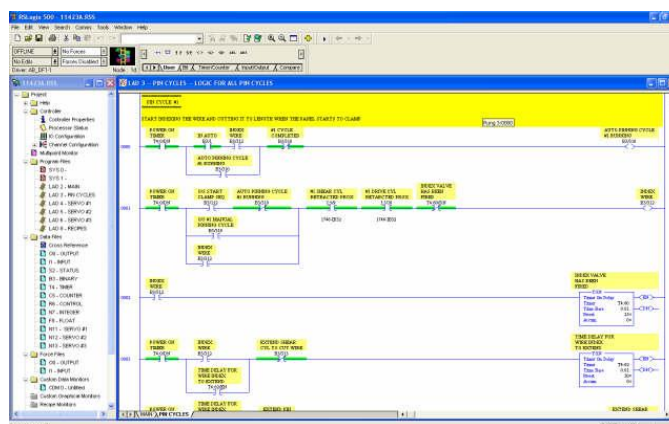


(Rockwell)

El PLC para ser programado requiere de un software, el cual compila los programas comúnmente escritos en lenguaje escalera a instrucciones básicas para ser ejecutadas. Este software de programación nos permite configurar las diferentes opciones que tiene el PLC y proporcionar la información del entorno del mismo para que este pueda ejecutar lo solicitado.

Cada fabricante de controladores desarrolla su software de programación basado en su equipo. En algunos casos se tiene un software distinto a cada familia de controladores, a pesar de que sean del mismo fabricante. Un ejemplo de este programa es el RSlogix 500, que fue desarrollado por Rockwell para sus PLC Allen Bradley de la familia Micrologix 1100. Este fue el utilizado para el desarrollo de este proyecto y el entorno es como lo muestra la siguiente imagen.

Figura 2. Vista de ejemplo RSLogix® 500



(Rockwell)

2) Comunicación. La comunicación en los sistemas de automatización se hace mediante protocolos, los cuales son una serie de requerimientos para enviar información, con el fin de que diferentes dispositivos puedan intercambiar datos de una manera más eficiente.

Los protocolos de comunicación pueden ser abiertos o propietarios. Los primeros son aquellos que se crean para que cualquier fabricante pueda realizar equipos con esas normas de comunicación y se puedan comunicar entre sí y, por lo general, no tienen costo de licencia. Por su parte, los protocolos propietarios son aquellos mediante los cuales un solo fabricante puede hacer equipos para que se comuniquen entre sí. Los fabricantes desarrollan este tipo de protocolos con el fin de asegurar que todo el sistema sea realizado con sus equipos. En algunas ocasiones vende licencias de fabricación a otros pero estas tienen precios elevados.

Como ejemplo de protocolos de comunicación propietaria tenemos el MODEBUS AP, el cual pertenece a SIEMENS. Los protocolos abiertos son varios,

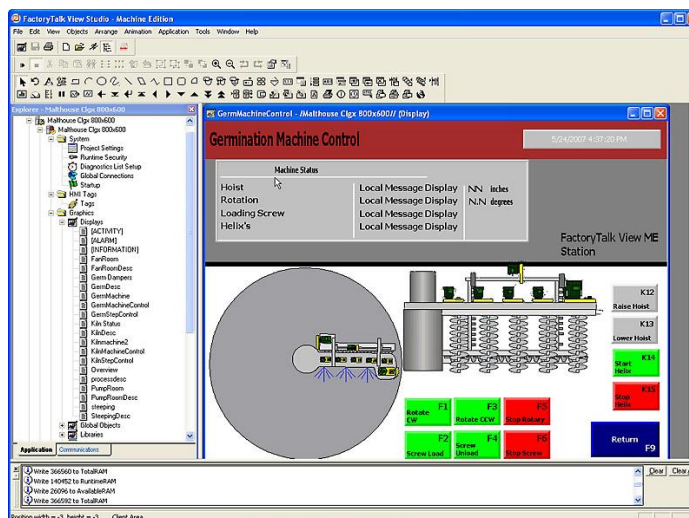
pero entre ellos podemos destacar HART, PROFIBUS, MODEBUS RTU, MODEBUS TCP, etc.

3) **HMI.** El término “Human Machine Interface” (HMI) significa en español “interfaz hombre máquina”, esto se refiere al programa con el cual el usuario interactuará para obtener información del sistema o hacer modificaciones en el proceso. Esta interfaz es la que comúnmente se puede observar en pantalla y posee displays numéricos, barras indicadoras, luces, etc.

El objetivo del HMI es presentar toda la información y control de una forma amigable e intuitiva para que el operador, a pesar de no ser un experto en programación o electrónica, pueda obtener la información necesaria y controlar el proceso.

Para realizar el HMI es necesario un software especial para crear las pantallas. Como sucede con el software de programación, cada fabricante realiza el propio. Para el caso de los sistemas hechos bajo equipo Rockwell existe el FactoryTalk.

Figura 3. Vista ejemplo FactoryTalk®



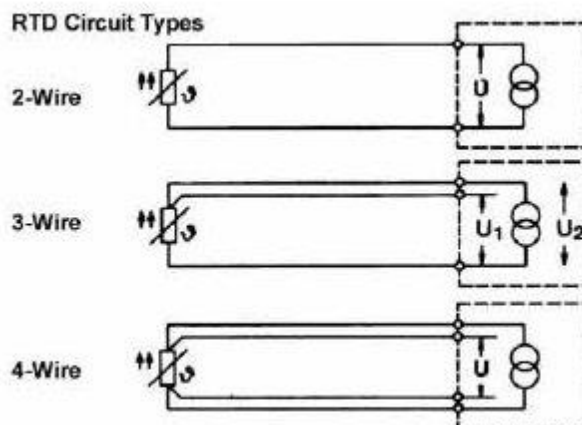
(Rockwell)

b. Operación. En la parte operativa del sistema están contenidos todos los elementos que realizan las tareas. Las tareas a desarrollar van desde la medición de variables hasta el encendido de un motor, así como abrir y cerrar válvulas.

1) **Sensores.** Los sensores son parte operativa del sistema, dado que estos, por medio de transductores, transforman una variable física en un valor electrónico. Los sensores que se utilizaron y en los que se hará énfasis son:

a) **Temperatura.** Es la cantidad de calor en un cuerpo o sustancia. En esta oportunidad se utilizaron RTDs: estos sensores son elaborados con un material que cambia su resistividad en base a la temperatura y así, al colocar un voltaje fijo, hace que la corriente que pasa por el sensor cambie y esté relacionada a la temperatura. A continuación podemos observar los circuitos que se forman con la RTD, para medir el valor de la temperatura, dependiendo de la cantidad de hilos que esta posea.

Figura 4. Diagrama de circuito RTD



b) **Presión.** Esta variable de proceso es la aplicación de una fuerza en determinada área. Existen diferentes tipos de presión, entre las que podemos

encontrar la absoluta, atmosférica y relativa. La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire sobre la atmósfera, en cualquiera de sus puntos. La presión manométrica o relativa es la diferencia entre la presión real y la presión atmosférica, es decir, la presión que se ejerce superando la atmosférica. La presión absoluta es la sumatoria entre la atmosférica y la manométrica. La presión es medida en diferentes unidades dependiendo del sistema utilizado, pero las más comunes son pascales, atmósferas y mm de mercurio.

Para medir la presión se utilizó un sensor de membrana. El funcionamiento de estos sensores radica en que poseen dos paredes formando una membrana, en la cual se mide la capacitancia. Una pared está fija y la otra varía su posición dependiendo de la presión ejercida. A medida que las paredes estén más cerca la capacitancia será mayor. Ello se da siguiendo la ecuación de la capacitancia.

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

en donde ϵ_0 = permisividad ad del vacío ($8.85 \times 10^{-2} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$)
 A = área de cualquiera de las placas (m^2)
 d = separación entre las placas (m)

Los sensores de presión por lo general lucen de la siguiente manera:

Figura 5. Sensor de presión



(www.sensores-de-medida.es)

c) Masa. Es la cantidad de materia de un objeto. Por lo general la masa es medida mediante un sensor de presión colocado bajo una plataforma o lugar de apoyo.

Dado que la fórmula de la presión es $P=F/A$ y que $F=mg$ si calculamos la presión que ejerce un cuerpo en el sensor y este valor lo dividimos entre el área del sensor, tenemos como resultado la fuerza que ejerce este puerto, la cual es equivalente al peso. Como sabemos que la aceleración que sufre el objeto es la de la gravedad, al dividir fuerza entre gravedad tenemos la masa.

Todos estos cálculos los hace internamente la balanza o celda de carga. Otra forma mediante la cual, por lo general, se hace es que se realiza una curva de relación entre la fuerza y la masa. De este modo se da el valor de la masa de una forma directa.

Figura 6. Balanza



(www.tecnoedu.com)

d)Flujo. Es la cantidad de materia que pasa en una unidad de tiempo en determinada área. Existen dos tipos de flujo, el volumétrico y el másico. El flujo másico es la cantidad de materia que pasa en determinado punto en determinado tiempo, mientras que el flujo volumétrico consiste en el volumen que pasa. La diferencia radica en las unidades a medir.

Existen diferentes formas de medir el flujo directa o indirectamente. Entre las formas directas de medir el flujo volumétrico tenemos los sensores magnéticos, ultrasónicos, térmicos, etc. Para medir el flujo másico solo se cuenta

con una forma y es la de los sensores tipo coriolis. La medición indirecta de flujo se puede hacer mediante la diferencia de temperatura presión diferencial en una placa de orificio, uno de vortex, etc.

La medición por medio de una placa de orificio es una restricción con una abertura más pequeña que el diámetro del tubo por el cual pasa el fluido. Esta restricción hace que el fluido aumente la velocidad y disminuya la presión. Se mide la presión antes y después de la placa orificio y así se puede llegar a conocer el flujo.

Figura 7. Diagrama placa de orificio



(www.industriaynegocios.cl)

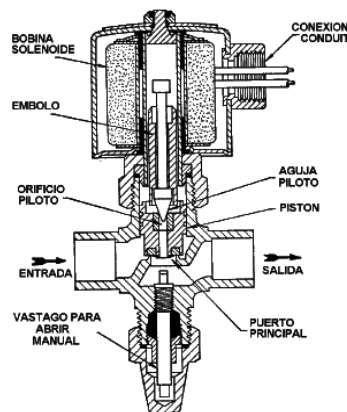
2) Actuadores. Los actuadores son los elementos del sistema que realizan una acción para modificar el valor de las variables de proceso o ejecutar una acción de control. Entre los actuadores podemos encontrar:

a) Válvulas. Son dispositivos que, dependiendo su función, regulan y permiten o no el paso de un fluido. Las válvulas poseen dos partes, la

válvula en sí que es la parte que modifica el flujo y el actuador, donde se convierte la señal de entrada para modificar la posición de la válvula.

Existen diferentes tipos de válvulas, pero la utilizada en este proyecto es una de solenoide de dos vías tipo On/Off. Esto significa que el actuador de la válvula es un solenoide, el cual al ser energizado atrae o aleja un pistón y con esto permite o no el paso de un fluido. Cuando se dice que es de dos vías se quiere decir que tiene una entrada y una salida. Existen otros tipos de válvulas que poseen más vías y por medio del actuador se escogen las funciones. Cuando indicamos que es de tipo On/Off queremos decir que solo puede estar en dos posiciones, totalmente cerrada o totalmente abierta. Otras válvulas pueden tener posiciones intermedias y así regular el flujo, a estas válvulas se les conoce como proporcionales. El diagrama de una válvula de solenoide es el siguiente:

Figura 8. Diagrama de válvula On/Off con solenoide



b) Variador de frecuencia. Este dispositivo es de funcionamiento puramente electrónico y lo que hace es que varía la frecuencia de la señal AC que se le coloca a un motor. A medida que la frecuencia sea menor la potencia que se le entrega al motor es menor y este girará a una menor velocidad. El variador de frecuencia al igual que el PLC es un elemento robusto.

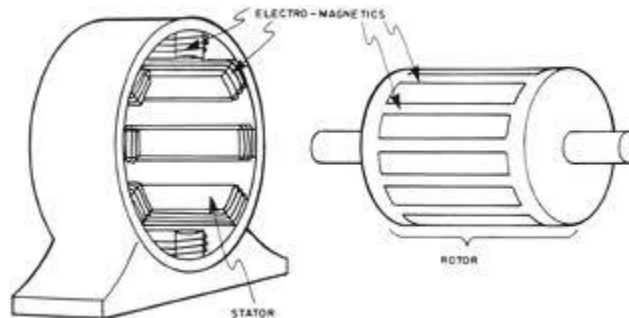
Figura 9. Variador de frecuencia



(Rockwell)

c) Motor. Es un elemento que transforma la energía eléctrica en mecánica. Existen motores AC y DC, la diferencia radica en el tipo de energía con la cual se alimentan (alterna o directa). El funcionamiento del motor es básicamente un rotor con imán que se ubica en el centro de un estator, construido con bobinas las cuales cambian su polaridad con la fase de la energía. Cuando el estator cambia de polaridad hace que el rotor gire y la energía eléctrica se transforme en mecánica.

Figura 10. Diagrama de motor AC



B. TORRE DE PARED MOJADA

1. Descripción de la torre de pared mojada. La torre de pared mojada es un dispositivo para estudios de transferencia de masa. Esquemáticamente la torre

de pared mojada se muestra en la figura 11. Una película de líquido desciende a través de la pared del tubo, a la vez que un gas circula por el centro del tubo en flujo paralelo o contracorriente.

La transferencia de masa desde la pared interior del tubo hacia un fluido en movimiento, tal como ocurre en la torre de pared mojada, es importante por sus aplicaciones prácticas a flujo de tuberías. Aunque industrialmente ha tenido poco uso, ha sido un instrumento de gran utilidad en investigación. La torre de pared mojada es un equipo en el cual es posible estudiar el coeficiente k , ya que el área de contacto entre las fases se conoce y no se da lugar a la separación de la capa límite. En la torre de pared mojada no se tiene fricción de forma. [3]

La superficie de contacto por unidad de volumen es pequeña, por lo que el equipo no es de importancia industrial. Sin embargo, ha sido de gran utilidad en estudios de investigación, ya que se puede medir la superficie de contacto y las condiciones de turbulencia en cada corriente son estándares y reproducibles.

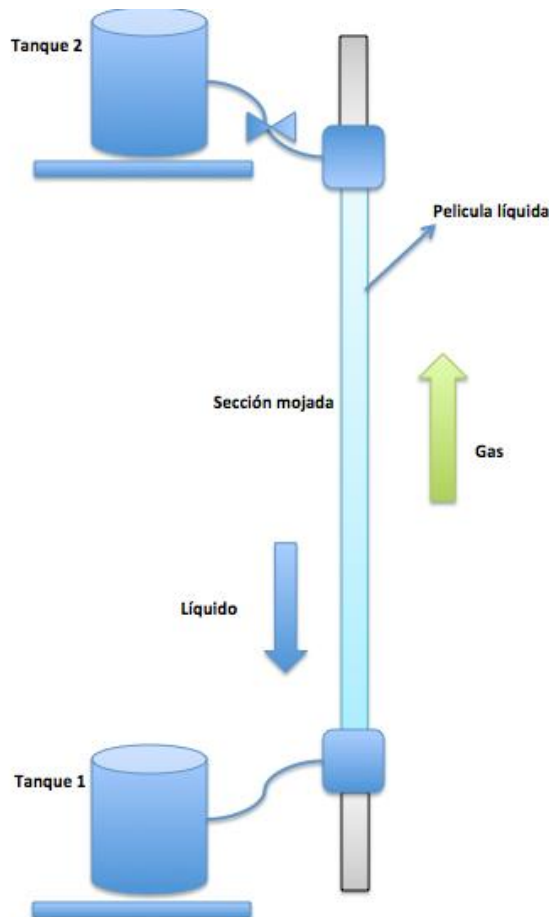
Además, por su sencillez, ha sido un instrumento valioso para verificar teorías sobre la transferencia de masa. Asimismo, por su geometría simple, se ha utilizado para estudios de analogías entre los fenómenos de transporte. Los resultados obtenidos en estas columnas han sido de aplicación para analogías en flujo en tubos circulares. [4]

La mayor parte de los datos que se han obtenido corresponden a la desorción adiabática de líquidos en el aire, en una menor proporción del aire hacia el líquido en la pared del tubo. Se han utilizado torres de pared mojada en estudios de absorción, absorción con reacción química, extracción, así como en destilación.

En el caso de extracción, se utiliza una torre de pared mojada de diseño especial, en la cual se operan dos líquidos fluyendo en contracorriente,

formándose una superficie de contacto cilíndrica estable entre los dos. El líquido que preferentemente moja la pared, forma la película de la pared y el otro líquido forma el núcleo. [2]

Figura 11. Diagrama de la torre de pared mojada (propia elaborada en vicio)



2. Transferencia de masa en la fase gaseosa. Los coeficientes de transferencia de masa para un líquido volátil, se determinan midiendo la velocidad de evaporación del líquido en el gas, a través de la superficie que es conocida. Sherwood y Gilliland estudiaron la desorción adiabática de nueve líquidos, en flujo paralelo y en contracorriente, con lo cual abarcaron desde 0.6 a 2.5 y variaron desde 2000 a 35000.

La utilización de desorción de líquidos puros en lugar de absorción simplificó la técnica experimental y a la vez permitió estudiar la difusión de distintos vapores. Encontraron también que la película de líquido descendente no tenía influencia sobre la caída de presión, debida a la fricción en el gas. Otro resultado interesante es que la velocidad del gas debía ser medida en relación al tubo y no en relación al líquido. La ecuación que correlacionaba todos los datos fue: [2]

$$N_{Sh} = 0.023N_{Re}^{0.83}N_{Sc}^{0.44}$$

Aunque no pudieron establecer con exactitud el exponente 0.44, debido a los líquidos utilizados, los autores variaron el exponente 0.44 hasta encontrar el mejor ajuste de los datos. [2]

3. Diseño de una torre de pared mojada. El número de unidades de transferencia y la altura de una unidad de transferencia, son conceptos utilizados en el diseño de equipo continuo de transferencia de masa y son una medida de la dificultad de la separación. Su relación con la altura Z del equipo es: [4]

$$Z = H_{tG}N_{tG}$$

Por lo general, se obtiene a partir de datos de equilibrio, balances de masa y de energía e incluye una integración a través del equipo. Este es un número fijo para las condiciones de entrada y salida y el grado de separación deseado en un proceso.

Sin embargo, el tamaño real del equipo no se puede conocer hasta tener la altura de una unidad de transferencia, que depende directamente de la velocidad de separación. Conocer este valor para la torre de pared mojada es de interés, no

sólo para obtener datos de diseño, sino también para proporcionar una base para comprender el mecanismo de transferencia de masa en este y otros sistemas. [4]

Una unidad de transferencia está dada en el caso de evaporación por:

$$H_{tG} = \frac{k_y a}{G'}$$

Donde $a=4/d$ en el caso de la torre de pared mojada. Esta ecuación puede combinarse con valores experimentales para obtener la altura de una unidad de transferencia. [4]

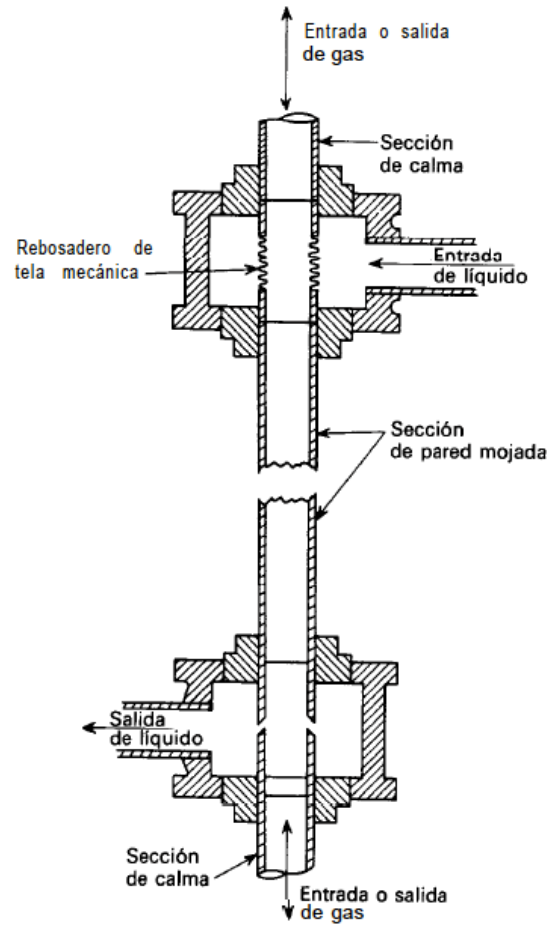
Los diseños de torres de paredes mojadas, encontrados en la literatura, muestran que la torre puede dividirse en tres partes: sección de calma inferior, sección mojada y sección de calma superior. La sección mojada es donde la fase gaseosa y la fase líquida entran en contacto y ocurre la transferencia de masa. Las secciones de calma son una extensión de la tubería por arriba y por debajo de la entrada del líquido, y sirven para minimizar los efectos de la turbulencia del gas en la sección mojada. Los parámetros de diseño más importantes son el diámetro interno de la tubería y la longitud de cada una de las secciones de la torre. Estos parámetros varían en cada uno de los diseños existentes. [2]

Se utilizan termómetros para medir la temperatura de entrada y de salida del gas y del líquido. El gas se ha hecho circular con ventiladores, y su flujo se ha medido ya sea con medidores de orificio o con rotámetros. El líquido se hace descender por gravedad, en algunos casos se recircula con una bomba. El flujo de líquido se ha medido de manera directa (probeta y cronómetro).

Por lo general, el flujo de líquido se mantiene constante durante las corridas. En el caso de evaporación de agua, la velocidad de vaporización se puede medir determinando la humedad del aire a la entrada y a la salida de la columna. Si se

evaporan otros líquidos, es necesario tener un recipiente graduado que permita determinar la cantidad que se evapora en un tiempo determinado. [2]

Figura 12. Partes de una torre de pared mojada



III.ANTECEDENTES

A. Diseño y elaboración de una torre de pared mojada

En el año 1997, el ingeniero Ramos realizó su tesis llamada *Montaje de una torre de paredes mojadas para realizar prácticas de transferencia de masa*, con el fin de diseñar y elaborar una torre de pared mojada para poder realizar prácticas de transferencia de masa. Esta torre fue diseñada basada en los modelos presentados en diferentes literaturas conocidas y su funcionamiento era completamente mecánico. Poseía un motor al cual se le acoplaba un eje, que tenía hélices para generar el flujo de aire. Dado que para las prácticas se debía tener diferentes flujos de aire, se variaba por medio del cambio de la posición de la faja que unía el eje del motor al de las hélices. La medición de variables se llevaba a cabo por medio de termómetros para la temperatura y un tubo en forma de U para la presión. Todo el control y monitoreo de la torre se realizaba de forma manual.

B. Fases anteriores de la automatización del laboratorio de operaciones unitarias

Hace algunos años se vio la necesidad de actualizar los equipos presentados en el laboratorio de operaciones unitarias. Ello tuvo su causa en el hecho de que en la industria guatemalteca se han dado cambios y cada día es más común encontrar equipos totalmente automatizados. Teniendo en cuenta que la automatización de equipos implicaba un gasto y existía un presupuesto limitado, se decidió realizarlo por fases. Esta es la quinta fase de la automatización del laboratorio y entre los equipos que ya se han automatizado encontramos la torre de enfriamiento, la torre de extracción, la planta de biodiesel y el cuarto de sólidos, entre otros.

IV.JUSTIFICACIÓN

En la industria de Guatemala y el mundo se está migrando de los procesos con mano de obra humana a procesos automatizados. En la actualidad los procesos poseen más componentes electromecánicos controlados por sistemas computarizados que antes. Este avance tecnológico permite obtener resultados más eficientes y con menor uso de recursos. Ello se ve reflejado en una mayor producción y utilidades para las empresas.

Dado que la finalidad del laboratorio de operaciones unitarias es preparar al estudiante para poder operar equipos que se encuentran en la industria (en la cual se está migrando a equipos automatizados), es necesario que el estudiante tenga contacto con esta clase de equipos en el laboratorio de operaciones unitarias, para que así pueda afrontar de una mejor manera el mundo real que le espera al empezar su vida laboral como ingeniero.

A los estudiantes realizadores de este proyecto, les permite tener la experiencia de desarrollar un trabajo multidisciplinario en el cual los alumnos de otras carreras aportan su conocimiento y acción para un mismo fin. El trabajo se llevó a cabo en conjunto con la carrera de Ingeniería Química e Industrial.

El proceso de la torre de pared mojada es puramente químico, por lo cual se necesitó a un estudiante de Ingeniería Química para poder tener total comprensión del proceso. Por ser un proyecto de automatización, es necesaria la transformación de variables físicas a eléctricas para poderlas monitorear y, si es necesario, controlarlas. Por ello fue imprescindible contar con la participación de un alumno de Ingeniería Química.

Dado que los trabajos de automatización y restauración necesitan cierta inversión, se contó con la ayuda de una estudiante de Ingeniería Industrial, para poder evaluar las diferentes alternativas económicas que existían y verificar el

cumplimiento del cronograma de actividades con el objetivo de hacer la entrega en la fecha estipulada.

V.PROBLEMA A RESOLVER

Los estudiantes de Ingeniería Química no pueden realizar prácticas de transferencia de masa debido a que la torre de pared mojada se encuentra en mal estado y la instrumentación es obsoleta o no existe. En el laboratorio de operaciones unitarias se tiene planeado llegar a tener el control y monitoreo de todos los equipos, desde un cuarto de control, y esto se pretende conseguir situándolos a todos en una misma red, pero la torre es unos de los equipos no automatizados.

VI.OBJETIVOS

A. GENERAL

1. Restaurar y automatizar la torre de pared mojada del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, para poder ser utilizada en las prácticas de transferencia de masa realizadas por los estudiantes de Ingeniería Química.

B. ESPECÍFICOS

1. Realizar una estructura para la torre de pared mojada que optimice el espacio en el laboratorio de operaciones unitarias y corresponda al requerimiento de ocupar un máximo de 1m².
2. Colocar escaleras en la nueva estructura para facilitar el acceso al equipo de una manera más segura.
3. Restaurar la torre de pared mojada para garantizar su correcto funcionamiento.
4. Implementar una interfaz, hombre-máquina de control y una visualización de resultados amigable para el estudiante.
5. Implementar el protocolo de comunicación Modbus®.

VII.DISEÑO EXPERIMENTAL

El proyecto cuenta con subdivisiones, entre las cuales está la estructura, la torre en sí y la automatización. El proceso se inició rediseñando la estructura, posteriormente se restauró la torre y por último se automatizó.

La estructura de la torre de pared mojada fue construida en dos partes que posteriormente se unieron. La parte inferior consiste en el soporte, desde las bases ancladas al suelo hasta el suelo del área de trabajo superior, y la parte superior comprende todo el soporte superior de la torre. La parte inferior fue construida con tubos de hierro al carbón, de perfil cuadrado de 3" de ancho, para dar robustez a la estructura.

Todas las uniones de los tubos fueron hechas con soldadura eléctrica de arco, mediante la técnica de gusano y no de puntos con masilla. La parte superior de la torre fue hecha con tubos cilíndricos de hierro para caldera y, al igual que la parte inferior, todas sus uniones fueron realizadas con soldadura eléctrica de arco. La estructura posee una escalera de acceso y una baranda de seguridad en el área de trabajo superior. Para asegurar la estabilidad de la torre, se ancló al piso por medio de pernos fundidos al suelo. Los planos pueden ser vistos en la sección de resultados en la Figura 19. Plano de vistas de estructura y en la Figura 20. Diagrama 3D de la estructura.

La unión entre la torre y la estructura se hizo mediante agarradores tipo hanger para tubo de 1". Se colocó uno en la sección de calma inferior, dos en la sección de transferencia y dos en la sección de calma superior. Para unirlos a la estructura se utilizó una varilla roscada unicanal de 3/8", la cual se fijó a una sección de riel que se soldó a la estructura. El riel tiene una tuerca que permite obtener la torre centrada y a la vez unida a la estructura.

El diseño utilizado para la torre de pared mojada es el empleado en la tesis del ingeniero Ramos, el cual puede ser visto en la Figura 12. El plano, con los instrumentos de medición y actuadores, se encuentra en los resultados en la Figura 23.

La torre de pared mojada fue construida con tubos de acero inoxidable de 1" de diámetro para la parte de calma inferior y superior. Para la parte de la transferencia de masa se contó con un tubo de pírex, para permitir que se pudiera observar el interior. Los largos en la sección de calma inferior son 1.53 metros y en la superior 1.30 metros, el tubo de vidrio tiene un largo de 1.81 metros.

Para hacer la formación de la pared de líquido y su recolección se utilizaron los distribuidores. El distribuidor que se encuentra en la parte de calma inferior une el tubo de la sección de calma inferior con el tubo de vidrio de la sección mojada. El tubo roscado se introduce en la tapadera con el agujero, se coloca un empaque y con un accesorio reductor campana de 1" a 1/2" se logra fijar el distribuidor.

Luego se cuenta con un tubo de 0.1 metros de largo que entra en un acople hembra PVC de 1". Este acople está enroscado con un acople macho PVC de 1", pegado al tubo de vidrio con pegamento epóxico. De esta forma queda unido el tubo de vidrio a la tapadera superior del distribuidor.

El distribuidor que se encuentra en la parte de calma superior cumple la función de permitir el paso del líquido hacia la sección mojada, lo cual se lleva a cabo por medio de inundación dentro del distribuidor. El tubo de vidrio cuenta con un acople macho PVC de 1", al igual que la parte inferior. Este entra en la tapadera inferior del distribuidor, se coloca un empaque y un acople hembra PVC de 1" roscado. En la tapadera superior entra el tubo roscado inoxidable y al igual que en el distribuidor inferior se roscó un reductor campana de 1" a 1/2", que tiene

roscado un tubo de 0.1 metros de largo. Así quedan unidas las secciones de calma inferior y superior a la sección mojada.

La alimentación del líquido de la torre se hace por medio de un tanque en la parte superior de la torre y, por medio de gravedad, el líquido cae en el distribuidor superior y se logra formar la película en la sección mojada de la torre. Aunque el flujo de aire entra en sentido contrario al del líquido, se logra formar la película dado que los flujos utilizados para el gas son pequeños. Para la selección de los flujos que permiten la formación de la película de líquido se tomó como referencia el sistema utilizado en el trabajo de graduación: *Montaje de una torre de paredes mojadas para realizar prácticas de transferencia de masa.*

Los recipientes donde se almacena el líquido poseen un agujero en la parte inferior para roscar dentro el sensor de temperatura, RTD. Para adaptar los sensores se utilizó un reductor bushing de 1" a 1/2" con teflón y sellador epóxico para evitar fugas. Para llevar el líquido del recipiente hacia el distribuidor se empleó manguera de Polietileno de 1/4". Como era necesario un sistema de bypass se colocaron adaptadores en Y de 1/4" para poder tener la válvula de bola y la válvula solenoide conectadas. Tanto en el recipiente como en el distribuidor se colocó una unión neumática roscada de 1/4". Los sensores RTD para el líquido fueron instalados dentro de los recipientes por medio de una adaptación que se hizo con un reductor bushing de 1" a 1/2" para poder roscarlos.

Para el flujo de aire de entrada se utilizó el ventilador del diseño anterior de la torre de pared mojada. Este cuenta con aspas curvas que, al hacer girar el motor, producen un flujo de aire. El motor que se instaló es de 1 1/2 hp con una velocidad de rotación de 1745 rpm y es controlado con un variador de frecuencia. Para fijar el ventilador se utilizaron tornillos de 3/8" al suelo y para unirlo al motor se empleó una polea tipo A. La que se eligió es la polea de 1" con una polea de 4" instalada en el eje del motor.

Para medir el flujo de aire que está ingresando a la torre se diseñó y se tiene una placa de orificio. Para los rangos que se piensan utilizar se obtuvo un valor para $\beta=0.5$. Esta cuenta con dos tomas de caída de presión del tipo de tubería (2.5 pulgadas aguas arriba y 8 pulgadas aguas abajo), el rango de velocidad recomendado para operar la torre es de 1-5 m/s.

Para medir la temperatura del gas de entrada y salida, se colocaron RTD como la de la Figura 13. RTD utilizada en el proyecto, las cuales fueron acopladas a la tubería por medio de uniones tipo T de 1", que poseen un reductor tipo bushing de 1" a 1/2". Esto con el fin de que el vástago pueda quedar en el centro de la tubería. En el caso de las RTD para bulbo húmedo se colocaron uniones de cuatro vías para que una sea utilizada para la inserción de la membrana húmeda.

Figura 13. RTD utilizada en el proyecto



Los sensores de presión diferencial se instalaron en la parte de calma inferior y superior de la torre, y el display se sujetó a la estructura de la torre por medio de tornillos, como se puede observar en la Figura 14. Indicador de presión. Para la toma de presión diferencial en la sección de calma de la torre se instalaron 2 T roscadas de 1" en el tubo de acero inoxidable, una en la parte superior y la otra en la parte inferior. A la T se le roscó un reductor campana de 1" a 1/2" para poder roscar una unión neumática de conexión rápida. En esta unión se conecta la manguera con diámetro exterior de 3/16" que va de la torre al sensor de presión

diferencial. Para la toma de presión diferencial en la placa de orificio, se roscaron de igual forma uniones neumáticas de conexión rápida y se utilizó una manguera de diámetro exterior de 3/16" para conectar desde la placa de orificio hacia el sensor de presión diferencial.

Figura 14. Indicador de presión



Todo el sistema es controlado por un PLC Micrologix 1100, como el que se observa en Figura 1. Micrologix® 1100, al cual se le agregaron dos módulos de entradas RTD y uno de entradas analógicas. La comunicación entre el PLC y el computador con el HMI se hizo mediante el protocolo de comunicación Ethernet. Todos los sensores fueron colocados en una configuración punto a punto, es decir, que cada sensor fue cableado individualmente a una entrada del PLC o alguno de sus módulos.

Las balanzas utilizadas son las de la Figura 15. Plataforma de pesaje y fueron los únicos instrumentos que necesitaron un módulo extra, el cual transformó la señal de milivoltios a 4-20mA. El variador de frecuencia fue comunicado al PLC mediante el protocolo de comunicación modbus, esto fue

hecho de esa forma dado que el empleo de ese protocolo es uno de los objetivos del proyecto y así se puede obtener información del estado del variador.

El sistema de control fue colocado a un costado de la torre, en un gabinete que en su interior posee riel DIN para sujetar el variador de frecuencia, el PLC, la fuente de alimentación, los módulos de las balanzas y las borneras.

Figura 15. Plataforma de pesaje



Para el cableado interno del panel se colocó una canaleta ranurada. En el panel se utilizó un código de colores, definiendo el color blanco para la línea viva 110V, el negro para el neutro 110V, el verde para tierra, el azul para negativo de 12VDC y el rojo para el positivo de 12VDC. Para el cableado externo del sistema se siguió con el código de colores y todo fue colocado en tubos de hierro al carbón de 1" de diámetro, pintados de color naranja. La unión de la tubería eléctrica con la estructura es por medio de agarradores tipo gancho atornillado.

VIII.METODOLOGÍA

El proyecto se llevó a cabo en dos partes, las cuales comprenden la restauración y automatización de la torre. Primero se realizó la restauración dado que, si no se tenía una buena estructura y definido el proceso, no se podía hacer un buen diseño e implementación de la automatización.

A. RESTAURACIÓN DE LA TORRE DE PARED MOJADA.

1. Estructura. La primera parte del proyecto que se realizó fue la restauración de la estructura para colocar la torre de pared mojada, debido a que la estructura con la que se contaba era inestable y según las autoridades correspondientes ocupaba mucho espacio. El departamento de Ingeniería Química deseaba que la torre ocupara menos espacio, por lo que se propuso un diseño que se puede observar en la sección de resultados en las ilustraciones 13 y 14, y que mide 1m² por casi 5m de alto.

En el diseño de la estructura se prestó mucha importancia a la estabilidad de la torre y a su accesibilidad. Anteriormente la estructura no estaba anclada al piso y esto hacía que fuera inestable. En el área de trabajo superior de la torre solo se contaba con una tabla de pino, sin baranda de seguridad, y para subir se usaba una escalera vertical.

La nueva estructura diseñada fue construida con tubos perfil cuadrado de 3", los cuales aportan estabilidad y robustez a la estructura. Para sus uniones se utilizó soldadura eléctrica. El proceso de fabricación de la estructura se puede ver en la Figura 16. En sustitución de las tablas de pino que se tenían como piso, se soldó malla metálica y se colocó una baranda de seguridad.

Figura 16. Proceso de soldado de estructura



Considerando la instrumentación con que contamos, se hicieron dos plataformas para las balanzas en el área donde se colocarían los tambos con el líquido. Estas plataformas son de 0.42 por 0.31m y fueron hechas con hierro angular de 1". De base se colocó una plancha metálica y se ubicaron soportes en la parte inferior para garantizar que las balanzas no se dañen o la estructura no soporte el peso.

Para tener una mejor estabilidad, toda la estructura fue anclada al suelo por medio de cuatro pernos fundidos y unidos a la estructura a través de tuercas. Para asegurar que la estructura no sufra de corrosión, se pintó con una pintura

anticorrosiva y se colocó una capa de pintura azul por los estándares del laboratorio. El trabajo terminado de la estructura se puede apreciar en la Figura 17. Estructura terminada.

Figura 17. Estructura terminada



2. Distribuidores de líquido. El siguiente aspecto para restaurar fueron los distribuidores de líquido, dado que son piezas fundamentales en el correcto funcionamiento de la torre. El distribuidor en la parte superior de la torre tiene la finalidad de formar la película de agua en el contorno interior del tubo de vidrio y permitir la salida del gas, mientras que en la parte inferior su función es recolectar el líquido en la salida de la torre y permitir el ingreso del gas.

El diseño de los distribuidores es el mismo que se utilizó en el trabajo de graduación: *Montaje de una torre de paredes mojadas para realizar prácticas de transferencia de masa.* (Ramos, 1997). Lo que se cambió fueron los materiales con los cuales estos estaban contruidos. Anteriormente los distribuidores estaban hechos de un cilindro de acrílico pero por el tipo de solventes se fue opacando, por esto se sustituyó por un cilindro de vidrio. Para realizarlo se utilizaron recipientes transparentes vacíos de reactivos químicos, se les cortó el fondo y la parte superior del recipiente para así obtener el cilindro. Las tapaderas fueron las mismas del diseño anterior, ambas tienen en el centro un agujero para permitir el paso del aire y del líquido a través del tubo de vidrio y de acero inoxidable. Para unir la tapadera con el cilindro de vidrio se empleó un pegamento epóxico para lograr pegarlo y al mismo tiempo ser un aislante, con el fin de no tener ningún tipo de fugas. El distribuidor de la parte inferior de la torre se puede observar en la Figura 18. Distribuidor de líquido.

Figura 18. Distribuidor de líquido



B.AUTOMATIZACIÓN

Al terminar toda la restauración de la torre ya se contaba con la base sólida para realizar la automatización, que se llevó a cabo por partes.

1.Instrumentación. Lo primero que se definió fueron los instrumentos porque hay que conocer bien qué es lo que se va a medir y, sobre la base de esto, diseñar el resto del sistema. Las variables y rangos de operación son los mismos que se utilizaron en la tesis del ingeniero Ramos. Teniendo en cuenta cuáles serían las variables a medir, se hizo una pequeña investigación de los diferentes sensores y formas que existen para medir estas variables. Para la selección de los instrumentos se consideraron aspectos como precisión requerida, disponibilidad del instrumento en el mercado, precio, entre otros.

Las variables definidas fueron:

- Temperatura del aire en la entrada y salida de la torre
- Temperatura del líquido en la entrada y salida de la torre
- Temperatura de bulbo húmedo del aire en la entrada y salida de la torre
- Caída de presión en la sección mojada de la torre
- Flujo de aire al entrar a la torre
- Flujo de agua que desciende en la torre
- Cantidad inicial de líquido

Ya teniendo definidas las variables fue necesario determinar los rangos en los cuales se pensaba operar la torre, el tipo de señal que se requería para conectar el sensor al PLC y el tipo de conexión al proceso. Para definir los rangos

de medición se tomaron como referencia los valores obtenidos en la operación de la torre de pared mojada anterior.

En la Tabla 1. Rangos de operación para cada variable a medir en torre de pared mojada, se presenta un detalle de los rangos de operación para cada una de las variables. Como se mencionó anteriormente los valores tomados como referencia fueron los del trabajo de graduación: *Montaje de una torre de paredes mojadas para realizar prácticas de transferencia de masa.* [3]

Tabla 1. Rangos de operación para cada variable a medir en torre de pared mojada

Torre de pared mojada.	Rango de operación
Masa líquido	15-20 litros
Caída de presión en la torre	0.2-1 " de agua
Caída de presión placa orificio	0.2-4.5 " de agua
Temperatura líquido	18-26 °C
Temperatura aire	15-29 °C
Temperatura bulbo húmedo	15-29 °C

De acuerdo a los rangos de operación se buscaron los sensores adecuados para realizar las mediciones, tomando en cuenta el tipo de señal y la conexión al proceso. En la Tabla 2 se puede ver los sensores seleccionados para cada una de las variables a medir en la torre de pared mojada, se presentan los sensores seleccionados para cada una de las variables a medir en la torre.

Tabla 2. Sensores seleccionados para cada una de las variables a medir en la torre de pared mojada

Variable a medir	Tipo de sensor	Rango de Operación
Masa líquido entrando	Balanza	0-35 kg
Masa líquido saliendo	Balanza	0-35 kg
Caída de presión en la torre	Sensor de presión diferencial	0-6 " de H ₂ O
Flujo de aire	Sensor de presión diferencial	0-6 " de H ₂ O
Temperatura a líquido	RTD	0-260 °C
Temperatura a líquido	RTD	0-260 °C
Temperatura a aire	RTD	0-260 °C
Temperatura a bulbo húmedo	RTD	0-260 °C
Temperatura a aire	RTD	0-260 °C
Temperatura a bulbo húmedo	RTD	0-260

Toda la instrumentación se calibró y verificó antes de ser instalada al proceso. Las RTD se compararon con un termómetro de mercurio y uno digital. Para generar las diferentes temperaturas se calentó agua en un beaker, con una estufa de laboratorio. Los sensores de presión se compararon con un manómetro

digital, el cual hizo la toma de presión en la toma de aire del ventilador. Esta toma de aire se encuentra a 7cm de la conexión al proceso del sensor. Para cambiar la presión se varió la velocidad del aire que pasa por esa tubería. Para las plataformas de pesaje se utilizaron pesos de calibración y se compararon con los datos generados en el sistema.

2. Actuadores. Posteriormente se evaluó qué partes de la torre se deseaban controlar, esto se hizo para saber con cuántas señales de salida debía contar el controlador. Se definió que era necesario colocar una válvula para controlar el flujo de entrada del líquido y así poder definir cuándo empieza y termina una corrida.

Otro aspecto que se debía controlar es el flujo de aire en el sistema. Para definir esto era importante conocer de qué manera se iba a generar y así definir de qué modo se iba a restringir. Podía ser creando una restricción o controlando la fuente de generación, en este caso se decidió controlar la fuente de generación.

3. PLC. Teniendo definidas las cantidades de entradas y salidas necesarias, como se puede ver en la Tabla 32. Señales de proceso, se procedió a seleccionar el PLC y los módulos extras para poder conectar la señal proveniente de todos los sensores. El PLC seleccionado fue de la marca Allen Bradley, modelo Micrologix 1100, y se vio la necesidad de utilizar dos módulos para señal RTD y un módulo para señal analógica.

4. Panel y diseño eléctrico. Una vez definido esto, se diseñó la parte eléctrica del proyecto. En ella se establecieron los calibres de los cables a utilizar así como el gabinete en donde iba a estar colocada la parte de control del sistema. Se precisaron los sistemas de protección con los que se iba a contar, la distribución de los cables de alimentación y el control en la estructura.

5. Instalación y calibraciones. Con todo el sistema definido se procedió a realizar todas las instalaciones correspondientes. Lo primero que se instalaron fueron los instrumentos de medición y los actuadores. Después se hizo el cableado y armado del panel, así como todas las instalaciones necesarias para energizar el sistema. Por último, se colocó todo el conducto eléctrico así como el cableado de potencia y de control.

Al tener todo instalado se procedió a hacer las calibraciones de los sensores para verificar las mediciones y saber qué valores eran los enviados al sistema de control.

6. Programación. Con todo el sistema instalado se procedió a hacer su programación de control y monitoreo. Esta se hizo en este punto porque, al tener el sistema armado, se pueden realizar diversas pruebas para verificar la correcta ejecución del programa. Se hizo el diseño de la interfaz del usuario y paralelamente se realizaron las configuraciones necesarias para poder establecer todas las comunicaciones.

7. Manual de operaciones y corridas. Por último, se realizaron corridas para obtener los valores y poder verificar que la torre tenga el comportamiento esperado. También se elaboró un manual donde se explica la forma correcta de operación de la torre y la secuencia en que se debe encender y apagar el equipo.

IX.RESULTADOS

La torre de pared mojada está dividida en tres partes, las cuales son: calma superior e inferior y tramo mojado. En las partes de calma es donde el gas se vuelve laminar para poder tener mediciones correctas. El tramo mojado es en el que el líquido está en contacto con el gas y se da la transferencia de masa. Estas partes están separadas por medio de los distribuidores.

En la Tabla 3. Dimensiones de la torre de pared mojada, se pueden apreciar las dimensiones de cada una de las secciones de la torre.

Tabla 3. Dimensiones de la torre de pared mojada

Sección	Material	Diámetro externo (cm)	Diámetro interno (cm)	Longitud (m)	Razón longitud diámetro
Calma inferior	Inox	3.340	2.664	1.39	52
Calma superior	Inox	3.340	2.664	1.05	39
Tramo Mojado	Vidrio	3.526	3.120	1.81	58

A. ESTRUCTURA

La estructura de soporte fue elaborada con hierro negro. Se utilizaron tubos rectangulares de tres pulgadas para que esta sea resistente y estable. En la Tabla 4. Dimensiones generales de la estructura de soporte, se pueden observar sus medidas resultantes, que fueron aceptadas por las autoridades correspondientes.

Tabla 4. Dimensiones generales de la estructura de soporte

Largo	Ancho	Alto	Área
1 m	1 m	4.65 m	1 m ²

En la Figura 19. Plano de vistas de estructura, se puede apreciar el plano de la estructura de soporte con todas las medidas y detalles correspondientes. En la Figura 20. Diagrama 3D de la estructura, se observa cómo se visualizaba el resultado de la estructura y se puede comparar con la Figura 17. Estructura terminada, que es una fotografía de la estructura real terminada. Así mismo las Figuras 18 y 19 son fotografías de la estructura ya unida a la torre.

Figura 19. Plano de vistas de estructura

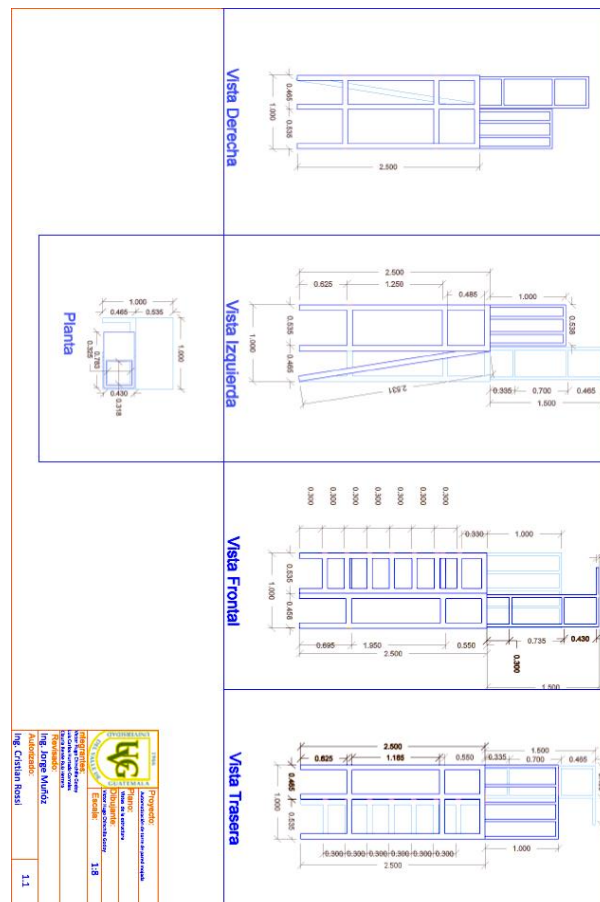


Figura 20. Diagrama 3D de la estructura

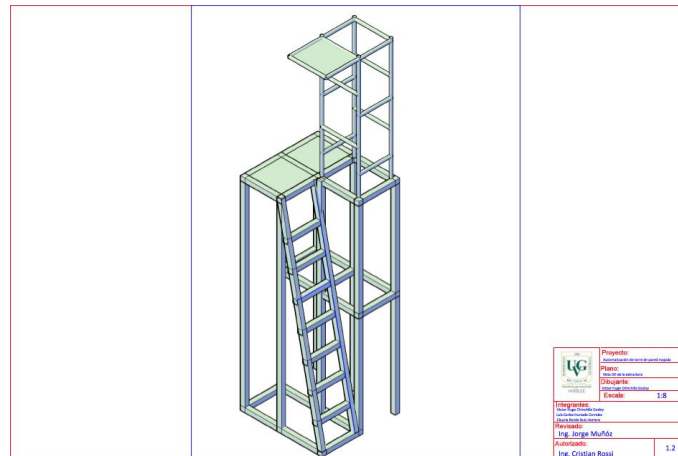


Figura 21. Parte superior de la estructura



Figura 22. Parte inferior de la estructura



Tabla 5. Características de la instrumentación

Variable a medir	Tipo de sensor	Marca	Modelo	Descripción	Señal	Rango de Operación
Masa líquido entrando	Balanza	Mettler Toledo	PBA220-QB35	Medición de la masa de líquido en tanque superior de la torre	4-20mA	0-35 kg
Masa líquido saliendo	Balanza	Mettler Toledo	PBA220-QB35	Medición de la masa de líquido en tanque inferior de la torre	4-20mA	0-35 kg
Caída de presión en la torre	Sensor de presión diferencial	Dwyer	Serie 616	Medición de la presión diferencial en la sección mojada de la torre	4-20mA	0-6 " de H ₂ O
Flujo de aire	Sensor de presión diferencial	Dwyer	Serie 616	Medición de la presión diferencial en placa de orificio en entrada de aire a la torre	4-20mA	0-6 " de H ₂ O
Temperatura líquido	RTD	Instrucon	RTD 4 pulgadas	Sensor de temperatura para el líquido que ingresa a la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura líquido	RTD	Instrucon	RTD 4 pulgadas	Sensor de temperatura para el líquido que sale de la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura aire	RTD	Instrucon	RTD 4 pulgadas	Sensor de temperatura para el aire que ingresa a la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura bulbo húmedo	RTD	Instrucon	RTD 4 pulgadas	Sensor de temperatura de bulbo húmedo para el aire que ingresa a la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura aire	RTD	Instrucon	RTD 4 pulgadas	Sensor de temperatura para el aire que sale de la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura bulbo húmedo	RTD	Instrucon	RTD 4 pulgadas	Sensor de temperatura de bulbo húmedo para el aire que sale de la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C

Tabla 6. Características de los actuadores

Variable a controlar	Elemento final de control	Marca	Modelo	Descripción	Señal
Flujo de líquido	Válvula solenoide	Asco	8345P001	Válvula que permite el paso del líquido en el recipiente de 5 galones hacia el distribuidor	24 VDC
Flujo de aire	Variador de frecuencia	Allen Bradley	PowerFlex 4	Variador que controla el motor de 1.5 hp	0-60 Hz

Verificación de instrumentos: Al momento de hacer la instalación de los equipos utilizados se realizaron las siguientes calibraciones y verificaciones para asegurar su correcto funcionamiento.

Tabla 7. Datos de calibración de RTD de entrada de gas, bulbo seco

PLC	Termómetro (grados Celcius)	Escalado (Grados Celcius)	Error
-18521	30.4	30.02	-0.012
-18228	34.9	35.03	0.004
-17935	40.7	40.04	-0.016
-17634	45.6	45.19	-0.009
-17351	50.3	50.03	-0.005
-17058	56	55.04	-0.017
-16766	59	60.03	0.017
-16473	64.6	65.04	0.007
-16181	69.9	70.03	0.002
-15889	75.2	75.03	-0.002
Promedio del error			-0.33%
Desviación Estándar del error			0.01

Figura 24. Relación de datos de temperatura con datos de PLC de la RTD de gas de entrada de bulbo seco

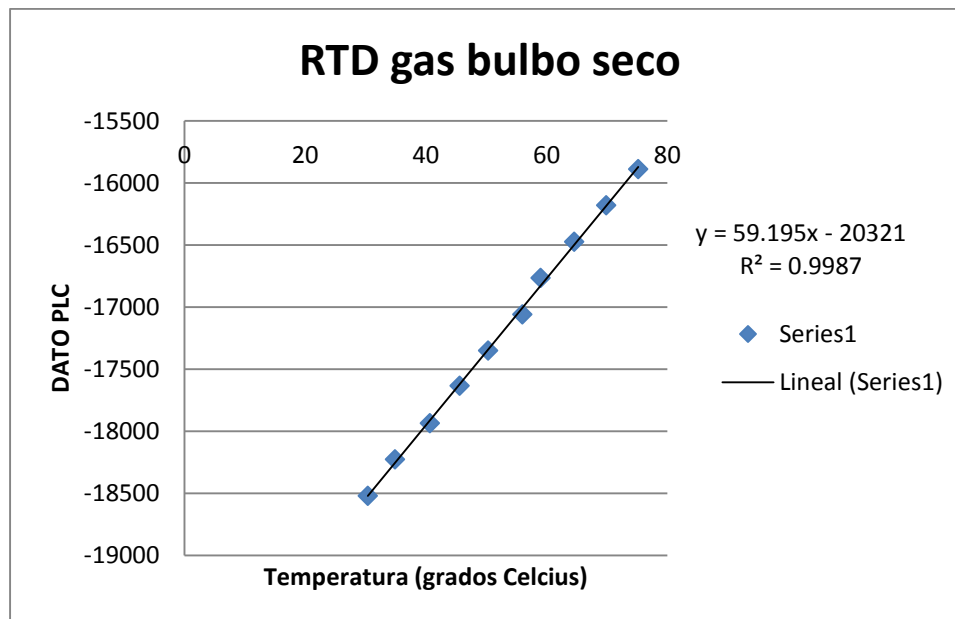


Tabla 8. Tabla de datos de verificación de RTD de entrada de gas con bulbo seco

Termómetro (Grados Celcius)	RTD (Grados Celcius)	error
31.7	32.1	0.0126183
36.9	37.28	0.0102981
53.6	54.3	0.0130597
56	56.8	0.01428571
	Error promedio	1.26%

Tabla 9. Datos de calibración de RTD de entrada de gas de bulbo húmedo

PLC	Termómetro	Escalado	Error
-18522	30.3	30.00	-0.01
-18229	34	35.01	0.03
-17633	45.6	45.21	-0.01
-17938	40.1	39.99	0.00
-17350	49.7	50.05	0.01
-17059	55.2	55.02	0.00
-16764	59.7	60.07	0.01
-16477	65.3	64.97	-0.01
-16179	70	70.07	0.00
-15891	75.1	74.99	0.00
Promedio del error			0.13%
Desviación Estándar del error			0.01

Tabla 10. Tabla de datos de verificación de RTD de entrada de gas de bulbo húmedo

Termómetro	RTD	error
31.8	32	0.0063
37	37.29	0.0078
54	54.1	0.0019
56.4	56.7	0.0053
		0.53%

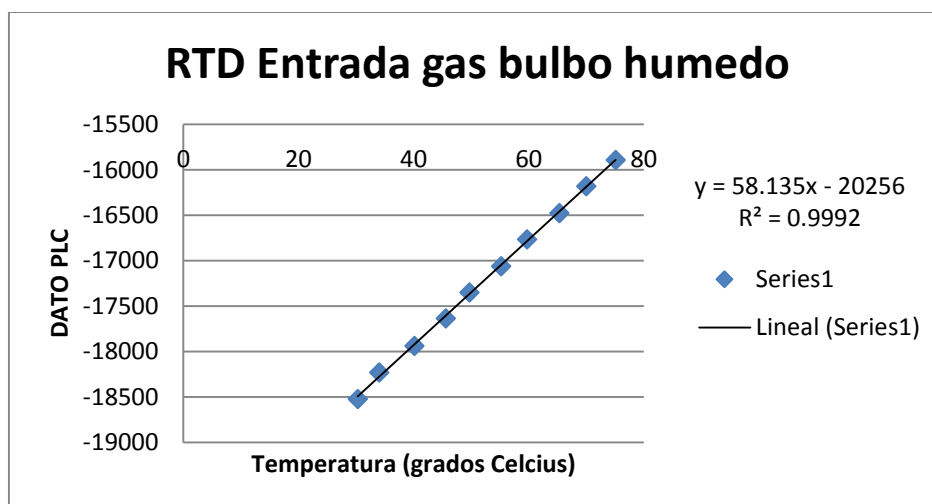
Figura 25. Relación de temperatura con datos de PLC de la RTD de entrada de gas con bulbo húmedo

Tabla 11. Datos de calibración de RTD salida de gas con bulbo seco

PLC	Termómetro (grados celcius)	Escalado (Grados Celcius)	Error
-18525	30.3	29.95	-0.01
-18227	34	35.05	0.03
-17631	45.6	45.24	-0.01
-17939	40.1	39.97	0.00
-17353	49.7	49.99	0.01
-17061	55.2	54.99	0.00
-16764	59.7	60.07	0.01
-16478	65.3	64.96	-0.01
-16179	70	70.07	0.00
-15890	75.1	75.01	0.00
Promedio del error			0.11%
Desviación Estándar del error			0.01

Tabla 12. Datos de verificación de calibración de RTD de salida de gas con bulbo seco

Termómetro (grados celcius)	RTD (grados celcius)	error
32	32.1	0.003125
36.5	37.3	0.02191781
53.2	53.9	0.01315789
56.1	56.9	0.01426025
Error promedio		1.31%

Figura 26. Relación de temperatura con datos de PLC de la RTD de salida de gas con bulbo seco

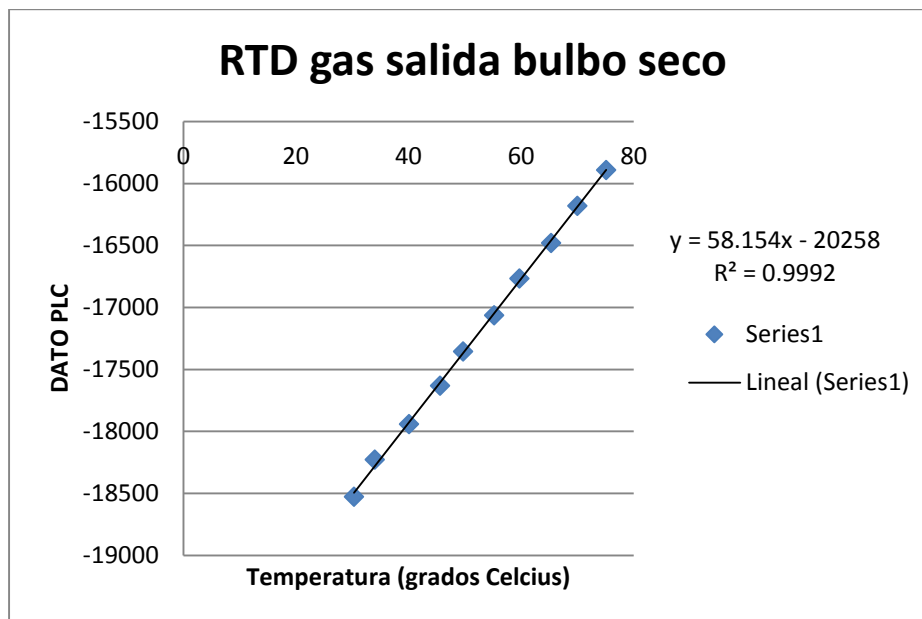


Tabla 13. Datos de calibración de RTD salida de gas con bulbo húmedo

PLC	Termómetro	Escalado	Error
-18526	30.2	29.94	-0.01
-18226	34.1	35.07	0.03
-17632	45.7	45.22	-0.01
-17940	40.2	39.96	-0.01
-17354	49.6	49.98	0.01
-17062	55.1	54.97	0.00
-16763	59.8	60.08	0.00
-16477	65.2	64.97	0.00
-16180	69	70.05	0.02
-15891	75	74.99	0.00
Promedio del error			0.25%
Desviación Estándar del error			0.01

Tabla 14. Datos de verificación de RTD de salida de gas de bulbo húmedo

Termómetro (Grados celcius)	RTD (Grados celcius)	error
31.7	32.3	0.02
36.4	37.4	0.03
53.1	53.3	0.00
56.3	56.9	0.01
	Error promedio	1.52%

Figura 27. Relación de temperatura de salida de gas con bulbo húmedo

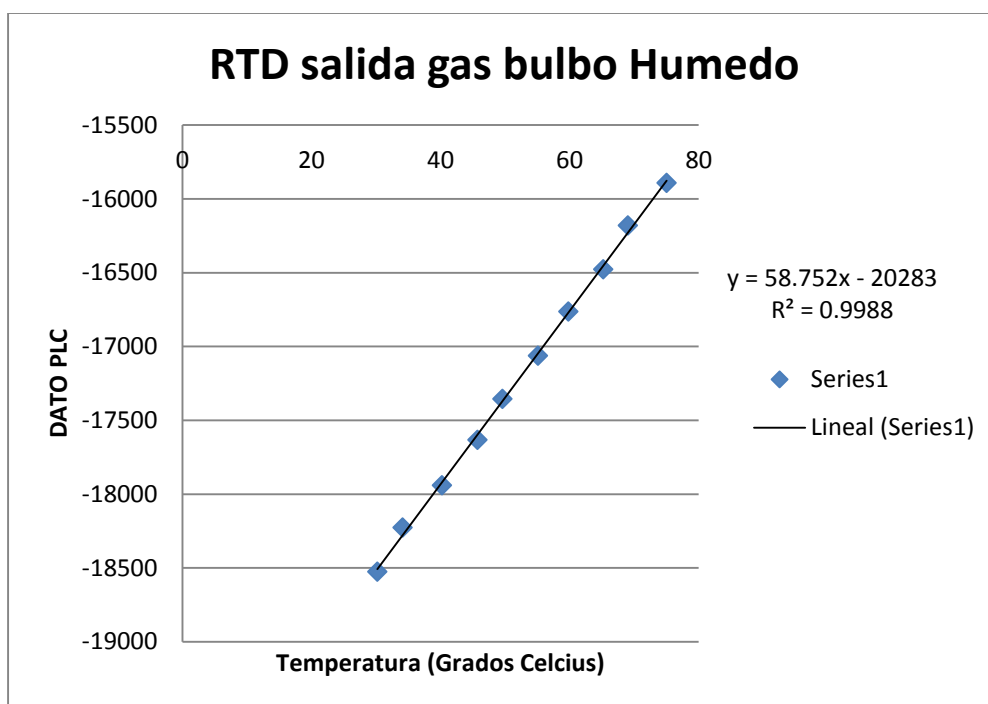


Tabla 15. Datos de calibración de RTD de salida de líquido

PLC	Termómetro (grados celcius)	Escalado (grados celcius)	Error
-18525	30.4	29.95	-0.01
-18225	34.2	35.08	0.03
-17633	45.5	45.21	-0.01
-17941	40.1	39.94	0.00
-17354	50.1	49.98	0.00
-17061	54.9	54.99	0.00
-16764	60.1	60.07	0.00
-16479	65.2	64.94	0.00
-16180	69.8	70.05	0.00
-15890	75.3	75.01	0.00
Promedio del error			-0.05%
Desviación Estándar del error			0.01

Figura 28. Gráfico de relación de temperatura con datos de PLC de RTD de salida de líquido

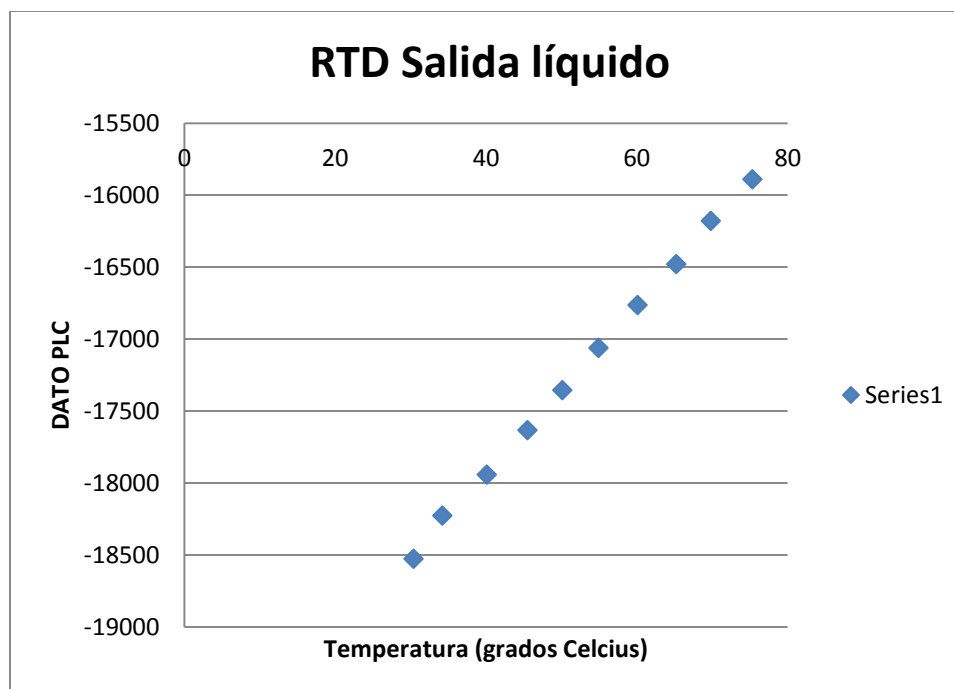


Tabla 16. Datos de verificación de RTD de salida de líquido

Termómetro (grados Celsius)	RTD (grados Celsius)	error
31.8	32.1	0.00943396
36.5	37.2	0.01917808
53	53.7	0.01320755
56.4	56.6	0.0035461
	Error promedio	1.13%

Tabla 17. Datos de calibración de RTD de salida de líquido

PLC	Termómetro	Escalado	Error
-18525	30.4	29.9525	0.01472039
-18228	34.2	35.0312	0.02430409
-17632	45.8	45.2228	0.01260262
-17930	41.1	40.127	0.02367397
-17350	50.2	50.045	0.00308765
-17060	55	55.004	7.2727E-05
-16757	61.1	60.1853	0.01497054
-16475	66.3	65.0075	0.01949472
-16180	70.1	70.052	0.00068474
-15890	75.1	75.011	0.00118509
Promedio del error			-0.66%
Desviación Estándar del error			0.01

Figura 29. Relación de temperatura con datos de PLC de RTD de salida de líquido para calibración

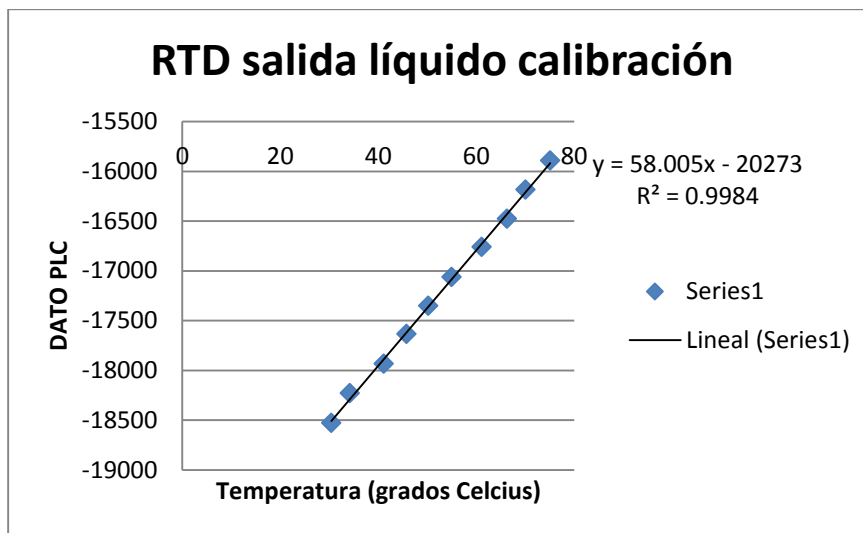


Tabla 18. Datos de verificación de RTD de entrada de líquido

Termómetro (grados Celsius)	RTD (grados Celsius)	error
31.7	32.2	0.01577287
36.4	36.9	0.01373626
53.2	53.6	0.0075188
56.1	56.4	0.00534759
	Error promedio	1.06%

Tabla 19. Datos de calibración de sensor de presión de la torre

PLC	Display (Grados Celsius)	Escalado (Grados Celsius)	error
3115	0	0.022	0.356
3257	0.07	0.093	0.328571429
3784	0.33	0.3565	0.08030303
3814	0.345	0.3715	0.076811594
3855	0.365	0.392	0.073972603
4068	0.47	0.4985	0.060638298
4261	0.565	0.595	0.053097345
4494	0.68	0.7115	0.046323529
4748	0.805	0.8385	0.041614907
5032	0.945	0.9805	0.037566138
5285	1.07	1.107	0.034579439
5559	1.205	1.244	0.032365145
5792	1.32	1.3605	0.030681818
6015	1.43	1.472	0.029370629
6299	1.57	1.614	0.028025478
6583	1.71	1.756	0.026900585
6827	1.83	1.878	0.026229508
7151	1.99	2.04	0.025125628
7374	2.1	2.1515	0.02452381
7760	2.29	2.3445	0.023799127
8186	2.5	2.5575	0.023
8531	2.67	2.73	0.02247191
8896	2.85	2.9125	0.021929825
9302	3.05	3.1155	0.02147541
9484	3.14	3.2065	0.021178344
		Promedio Error	4.96%

Figura 30. Relación de datos de PLC del sensor de presión de la torre con presiones dadas por el manómetro

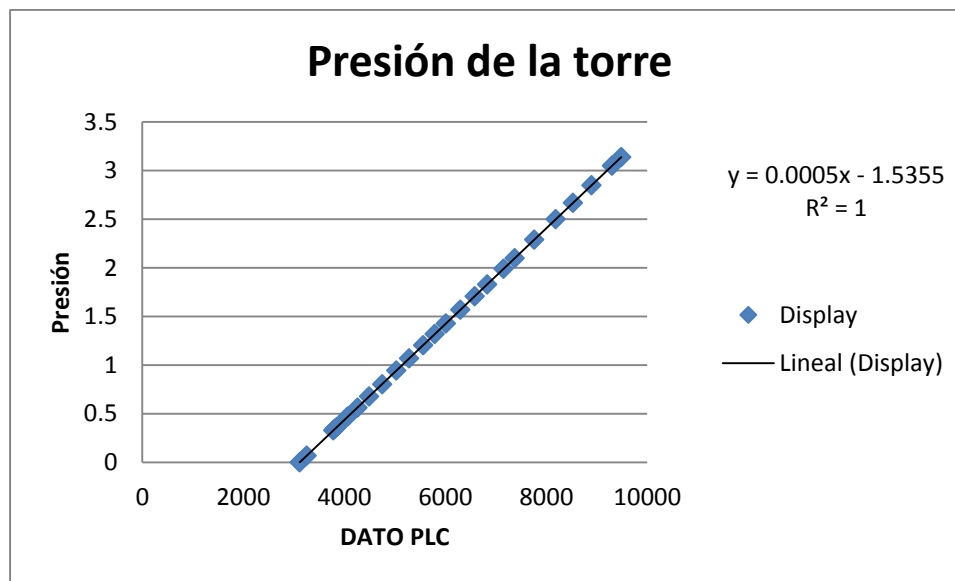


Tabla 20. Datos de verificación de sensor de presión de la torre

Manómetro	Sensor	Error
27.40	32.38	0.18181818
54.80	54.05	-0.01363636
99.64	102.13	0.025
169.38	168.14	-0.00735294
249.09	248.84	-0.001
343.74	333.78	-0.02898551
430.92	433.41	0.00578035
	Promedio error	2.31%

Tabla 21. Datos de calibración de sensor de presión para velocidad

PLC	Display (pascales)	Escalado (pascales)	error
3116	0.0	5.6	0.0
3255	17.4	22.9	0.3
3786	82.2	89.0	0.1
3816	85.9	92.8	0.1
3857	90.9	97.9	0.1
4068	117.1	124.2	0.1
4261	140.7	148.2	0.1
4493	169.4	177.1	0.0
4749	200.5	209.0	0.0
5031	235.4	244.1	0.0
5284	266.5	275.6	0.0
5560	300.2	310.0	0.0
5791	328.8	338.8	0.0
6015	356.2	366.7	0.0
6298	391.1	401.9	0.0
6583	425.9	437.4	0.0
6827	455.8	467.8	0.0
7150	495.7	508.0	0.0
7374	523.1	535.9	0.0
7761	570.4	584.1	0.0
8186	622.7	637.0	0.0
8533	665.1	680.3	0.0
8896	709.9	725.5	0.0
9303	759.7	776.2	0.0
9484	782.1	798.7	0.0
		Promedio Error	4.93%

Figura 31. Relación de datos de PLC del sensor de presión para velocidad con presión dada por manómetro

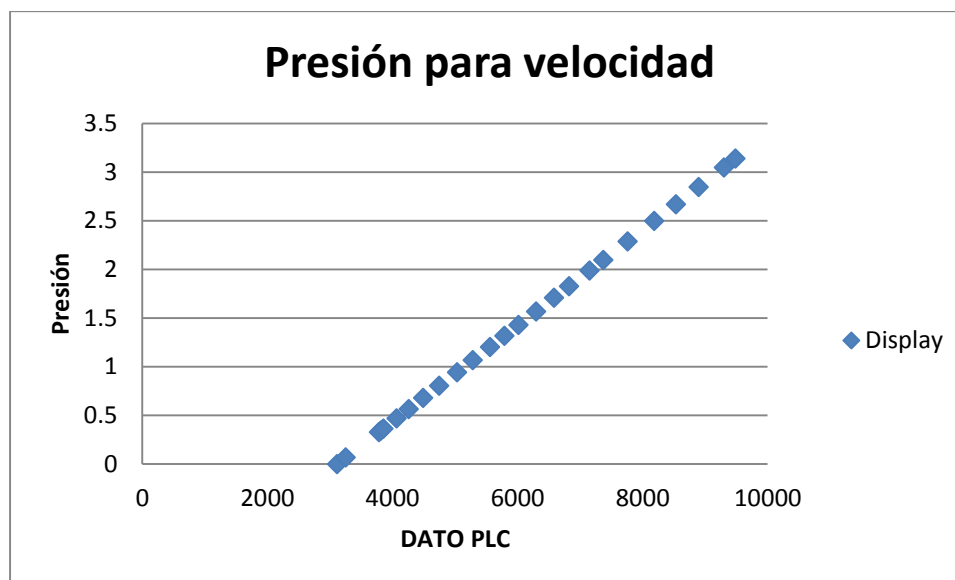


Tabla 22. Datos de verificación de sensor de presión para velocidad de gas

Manómetro	Sensor	Error
0.12	0.119	-0.00833333
0.22	0.218	-0.00909091
0.4	0.415	0.0375
0.68	0.674	-0.00882353
1	0.998	-0.002
1.38	1.4	0.01449275
1.73	1.77	0.02312139
	Promedio error	0.67%

Tabla 23. Datos de calibración de masa de líquido de entrada

PLC	Pesos	Escalado	Error
4	0	0.0007	0
1189	2.5	2.4892	0.00432
2374	5	4.9777	0.00446
3560	7.5	7.4683	0.00422667
4745	10	9.9568	0.00432
5930	12.5	12.4453	0.004376
7116	15	14.9359	0.00427333
8301	17.5	17.4244	0.00432
9487	20	19.915	0.00425
promedio error			0.38%

Figura 32. Gráfico de relación de datos de PLC con pesos para plataforma de pesaje en la entrada del líquido

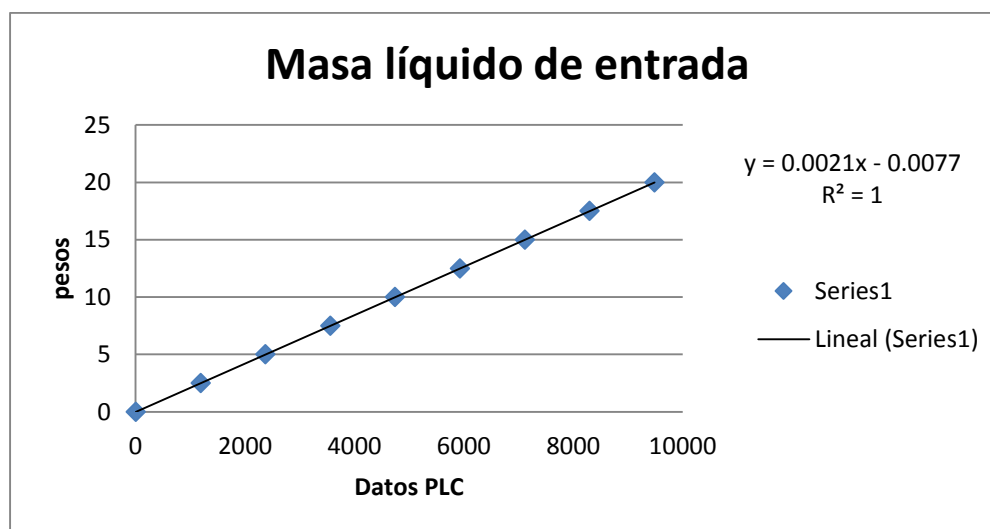


Tabla 24. Datos de verificación de plataforma de pesaje de líquido de entrada

Pesos	Sensor	Error
0	0.0007	0
5	4.977	0.0046
10	9.957	0.0043
15	14.935	0.00433333
Promedio Error		0.33%

Tabla 25. Datos de calibración de plataforma de pesaje de líquido de salida

PLC	Pesos	Escalado	Error
4	0	0.0007	0
1189	2.5	2.4892	0.00432
2374	5	4.9777	0.00446
3560	7.5	7.4683	0.00422667
4745	10	9.9568	0.00432
5930	12.5	12.4453	0.004376
7116	15	14.9359	0.00427333
8301	17.5	17.4244	0.00432
9487	20	19.915	0.00425
		Promedio Error	0.38%

Figura 33 Relación de datos de PLC con pesos para la plataforma de pesaje de líquido de salida

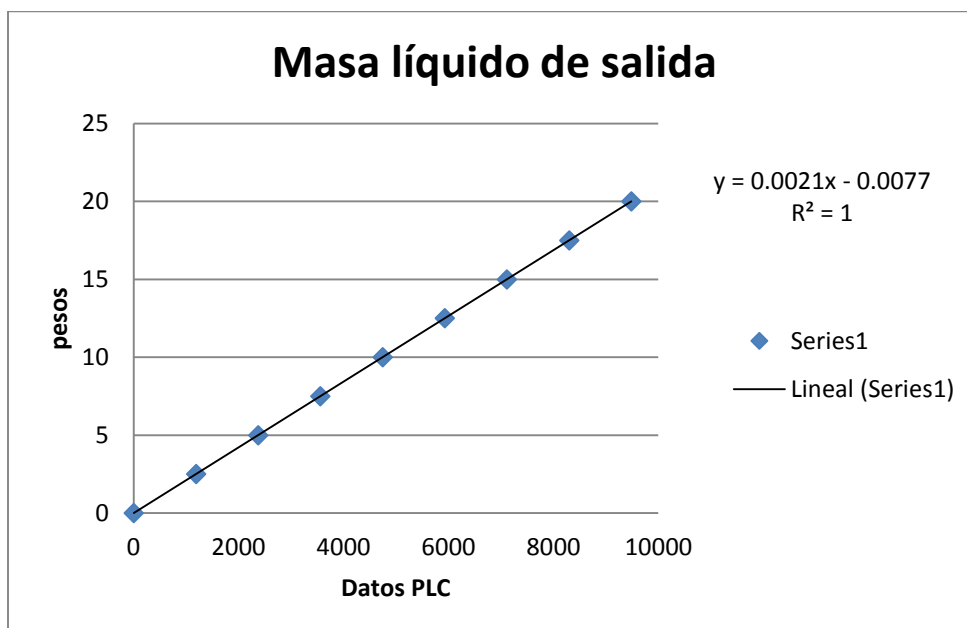


Tabla 27. Datos de verificación de plataforma de pesaje de líquido de salida

Pesos	Sensor	Error
0	0.0007	0
5	4.977	0.0046
10	9.957	0.0043
15	14.935	0.00433333

Promedio

Error 0.33%

C. CONTROL

En la tabla 28, se puede observar la relación que tiene la frecuencia del variador para controlar al motor y con esto crear un diferencial de presión que se traduce a una velocidad. La relación directa entre presión diferencial, en la placa de orificio, y velocidad se puede ver en la figura 33 y la relación directa entre la frecuencia y la velocidad en la figura 34.

Tabla 28. Relación entre frecuencia, velocidad y presión en el sistema

Frecuencia (Hz)	Velocidad (m/s)	Presión (psi)
0	0	0
5.3	0.103	0.07
18	0.985	0.33
18.5	1.03	0.345
19.5	1.15	0.365
22	1.444	0.47
24.4	1.79	0.565
26.9	2.16	0.68
29.3	2.6	0.805
31.8	3.05	0.945
34.2	3.53	1.07

Continuación Tabla 28

Frecuencia (Hz)	Velocidad (m/s)	Presión (psi)
36.4	4	1.205
38.2	4.3	1.32
40.1	4.7	1.43
41.9	5.1	1.57
43.8	5.57	1.71
45.7	6.05	1.83
47.5	6.5	1.99
49.4	6.95	2.1
51.3	7.6	2.29
53.1	8.3	2.5
55	8.9	2.67
56.8	9.4	2.85
58.7	10	3.05
60	10.5	3.14

Figura 33. Presión vs velocidad para mostrar la relación que se genera en la placa de orificio

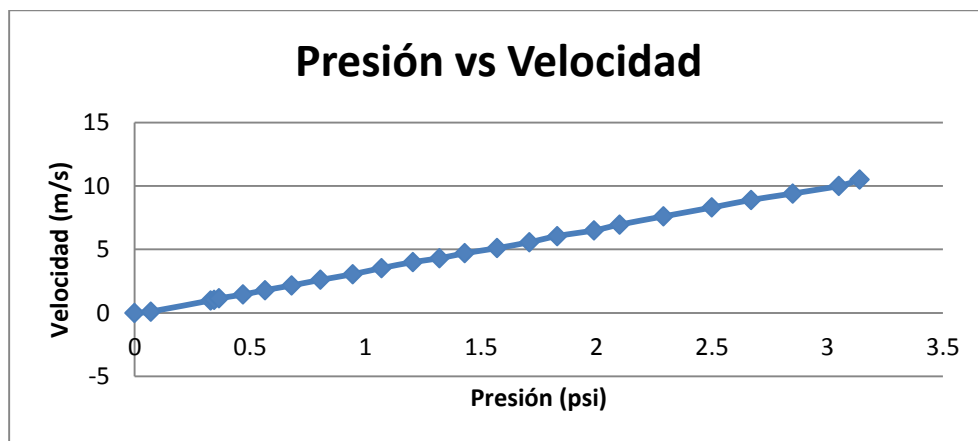


Figura 34. Velocidad vs frecuencia y sobrepuesto las tres partes en que se dividió el ingreso de datos

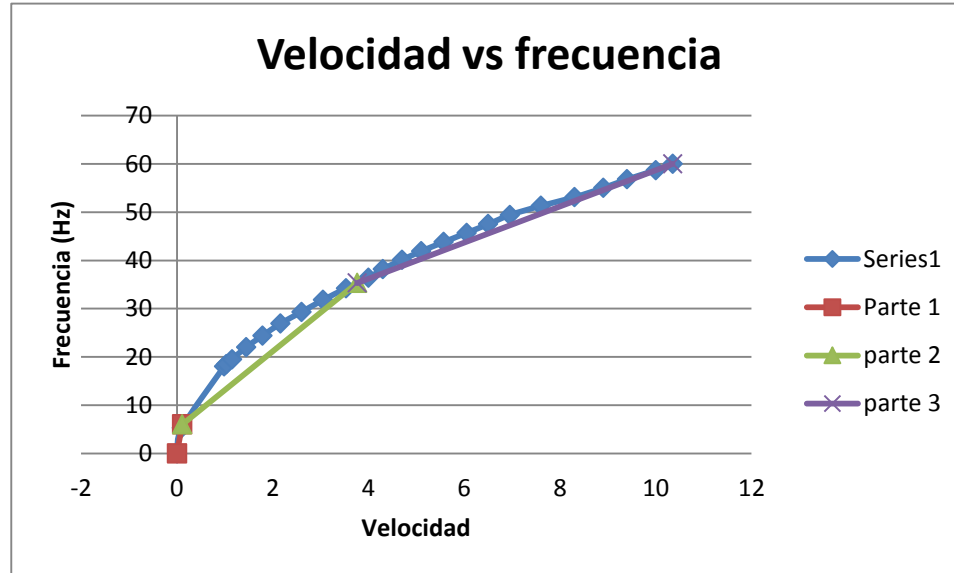


Tabla 29. Velocidad y frecuencia

Velocidad (m/s)	Frecuencia (Hz)
0	0
0.112	6
3.7616	35.3
10.35	60

El control empleado es un control PID con retroalimentación negativa como lo describe la Figura 35. Diagrama de control de velocidad de gas.

Figura 35. Diagrama de control de velocidad de gas

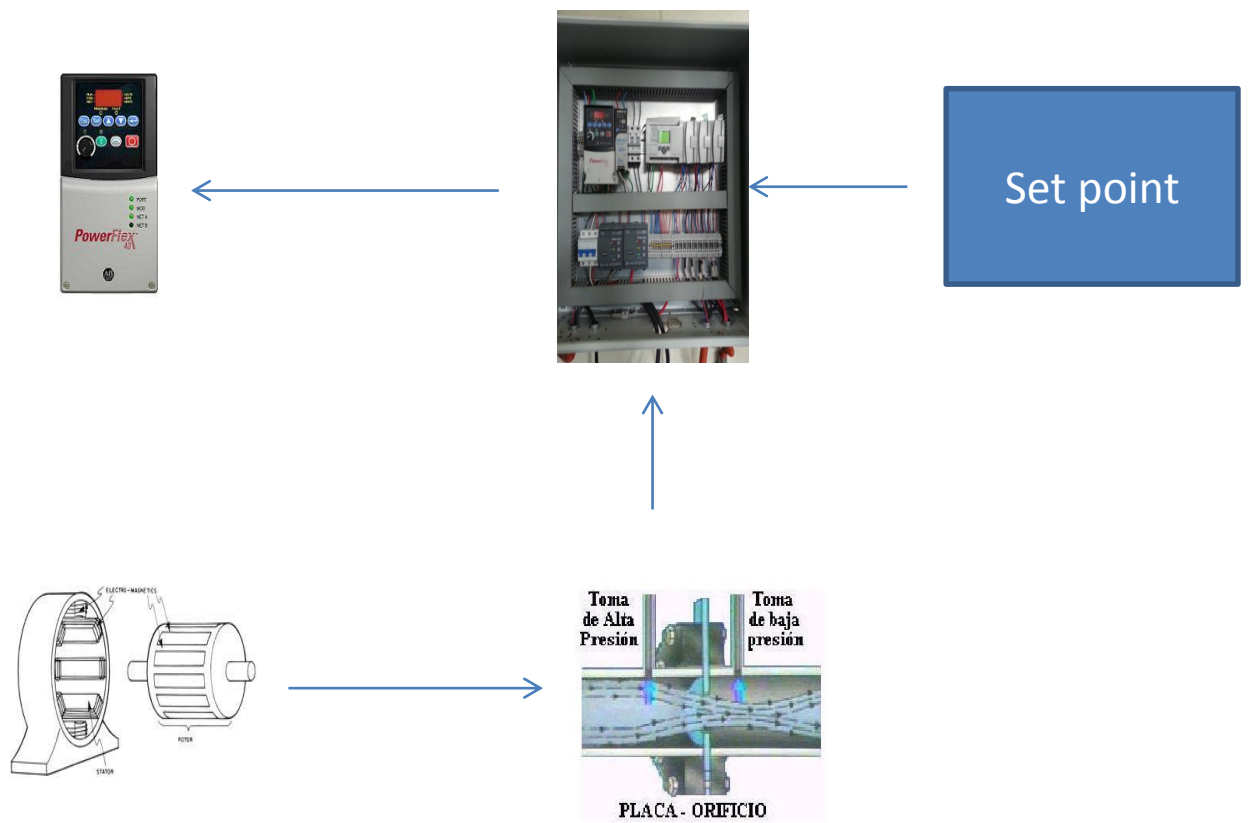


Tabla 30. Datos de comparación de velocidad entre sistema de lazo abierto y control PID

Tiempo	Velocidad lazo abierto (m/s)	Error	PID(m/s)	Error	Setpoint (m/s)
1	0.01	0.995	0.1	0.95	2
2	0.04	0.98	0.5	0.75	2
3	0.1	0.95	1.5	0.25	2
4	0.5	0.75	2.4	-0.2	2
5	0.6	0.7	2.2	-0.1	2
6	0.8	0.6	2	0	2
7	1	0.5	2	0	2
8	1.2	0.4	2	0	2
9	1	0.5	2.1	-0.05	2
10	0.8	0.6	1.8	0.1	2
11	1.1	0.45	2.2	-0.1	2
12	1.2	0.4	2.1	-0.05	2
13	0.9	0.55	2	0	2
14	0.85	0.575	1.9	0.05	2
15	1	0.5	1.85	0.075	2
16	1.3	0.35	1.95	0.025	2
17	0.9	0.55	2	0	2
18	1.2	0.4	2	0	2
19	0.85	0.575	1.95	0.025	2
20	0.95	0.525	2	0	2
21	0.8	0.6	2.1	-0.05	2
22	1	0.5	1.9	0.05	2
23	1.3	0.35	2	0	2
24	1	0.5	2	0	2
25	1.1	0.45	2	0	2
26	0.9	0.55	1.9	0.05	2
27	1	0.5	2	0	2
28	1.3	0.35	2	0	2
29	0.85	0.575	2.1	-0.05	2
30	1	0.5	2	0	2

Figura 36. Gráfico de datos de comparación de velocidad del sistema a 2 m/s

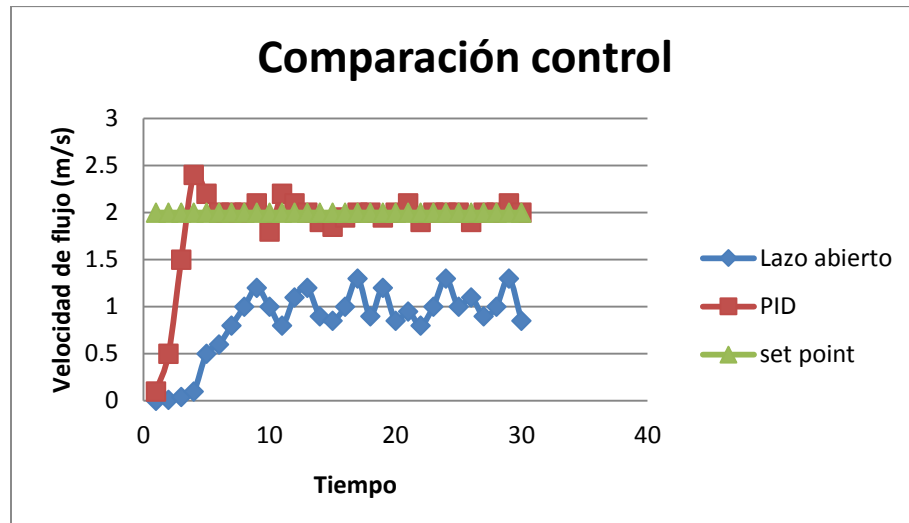


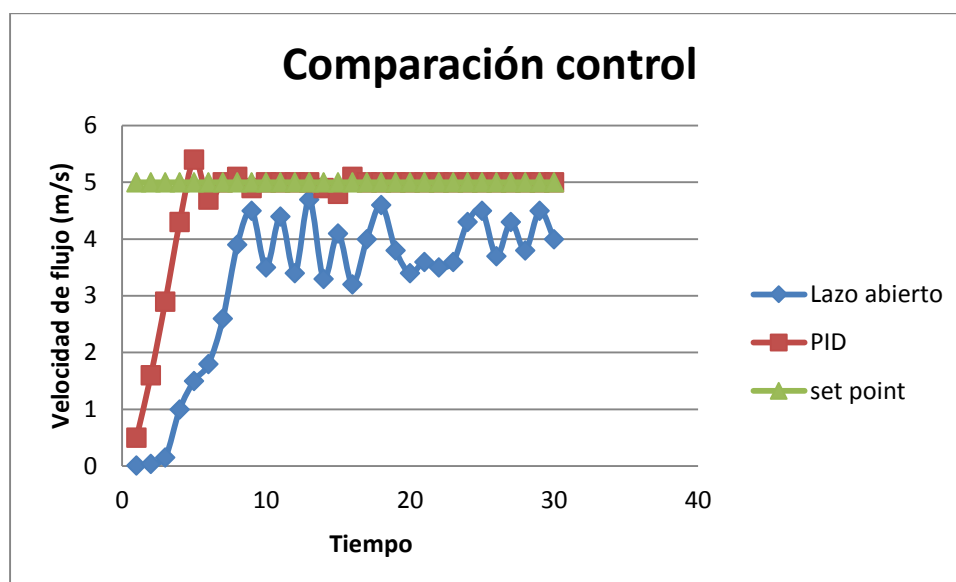
Tabla 31. Datos de comparación de sistema de lazo abierto y control PID para 5m/s

Tiempo	Velocidad lazo abierto (m/s)	Error	PID (m/s)	Error	Setpoint (m/s)
1	0.01	0.998	0.5	0.9	5
2	0.04	0.992	1.6	0.68	5
3	0.15	0.97	2.9	0.42	5
4	1	0.8	4.3	0.14	5
5	1.5	0.7	5.4	-0.08	5
6	1.8	0.64	4.7	0.06	5
7	2.6	0.48	5	0	5
8	3.9	0.22	5.1	-0.02	5
9	4.5	0.1	4.9	0.02	5
10	3.5	0.3	5	0	5
11	4.4	0.12	5	0	5
12	3.4	0.32	5	0	5
13	4.7	0.06	5	0	5
14	3.3	0.34	4.9	0.02	5
15	4.1	0.18	4.8	0.04	5
16	3.2	0.36	5.1	-0.02	5
17	4	0.2	5	0	5
18	4.6	0.08	5	0	5

Continuación Tabla 31

Tiempo	Velocidad lazo abierto (m/s)	Error	PID (m/s)	Error	Setpoint (m/s)
19	3.8	0.24	5	0	5
20	3.4	0.32	5	0	5
21	3.6	0.28	5	0	5
22	3.5	0.3	5	0	5
23	3.6	0.28	5	0	5
24	4.3	0.14	5	0	5
25	4.5	0.1	5	0	5
26	3.7	0.26	5	0	5
27	4.3	0.14	5	0	5
28	3.8	0.24	5	0	5
29	4.5	0.1	5	0	5
30	4	0.2	5	0	5

Figura 37. Gráfico de comparación de control lazo abierto con PID a 5m/s



En la Figura 38. Gabinete final del proyecto, se puede observar el gabinete resultante en el cual se tiene todo el control del sistema. El PLC y los módulos que se aprecian en la figura anteriormente mencionada fueron seleccionados sobre la base de las señales de proceso que se pueden ver en la Tabla 32. Señales de

proceso. También se presentan los módulos de protecciones que se utilizaron así como los de alimentación.

Figura 38. Gabinete final del proyecto



Tabla 32. Señales de proceso

Variable	Señal	Rango de Operación	I/A	O/A	I/D	O/D	RTD
Masa líquido entrando	4-20mA	0-35 kg	1	0	0	0	0
Masa líquido saliendo	4-20mA	0-35 kg	1	0	0	0	0
Caída de presión en la torre	4-20mA	0-1494.53 pascales	1	0	0	0	0
Flujo de aire	4-20mA	0- 1494.53 pascales	1	0	0	0	0
Temperatura líquido	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1
Temperatura líquido	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1
Temperatura aire	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1

Continuación Tabla 32

Variable	Señal	Rango de Operación	I/A	O/A	I/D	O/D	RT D
Temperatura bulbo húmedo	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1
Temperatura aire	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1
Temperatura bulbo húmedo	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1
Flujo de líquido	24 VDC	-	0	0	0	1	0
		Total	4	0	0	1	6

D. PROGRAMACIÓN

En la Figura 39. Programa den Ladder 1, Figura 40. Programación Ladder 2 y Figura 41. Programación Ladder 3, se observa la parte del código de programación del PLC donde se hace la conversión de los valores obtenidos por los sensores a valores con las dimensionales utilizadas para los cálculos del proceso. Esto se hace sin importar si el equipo está en modo manual o automático.

Figura 39. Programa den Ladder 1

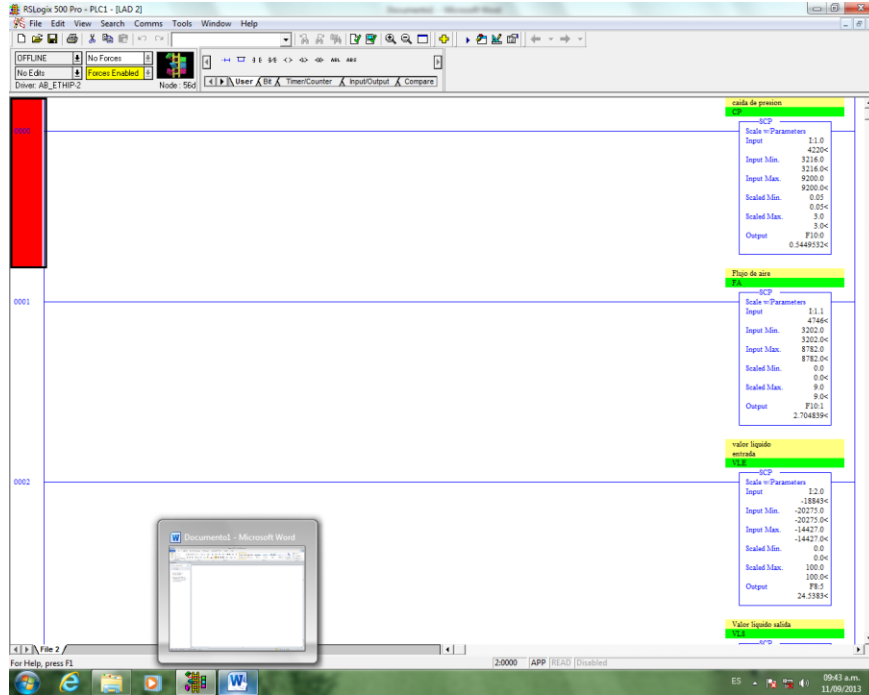


Figura 40. Programación Ladder 2

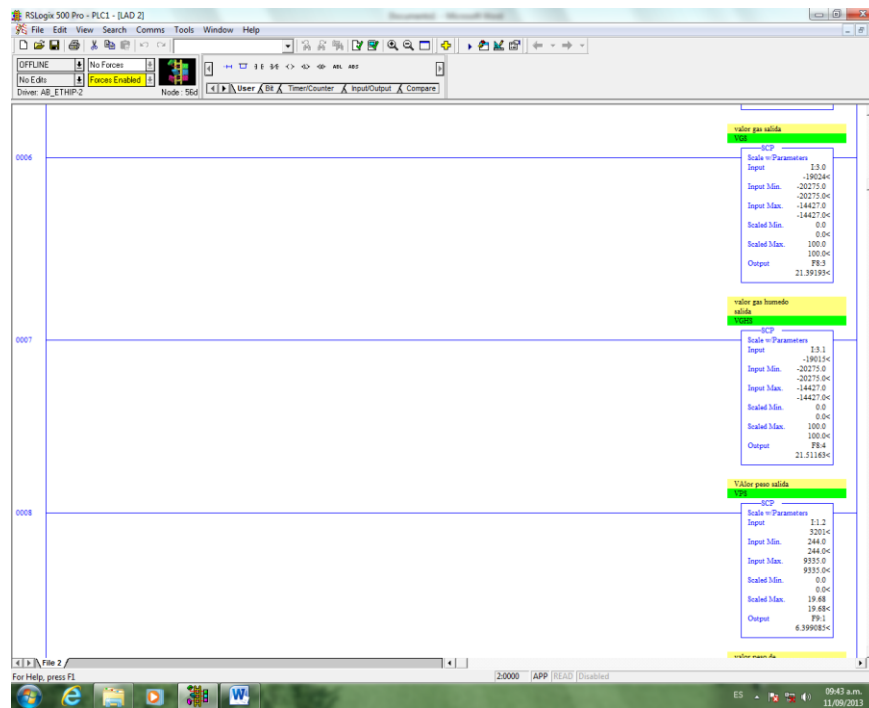
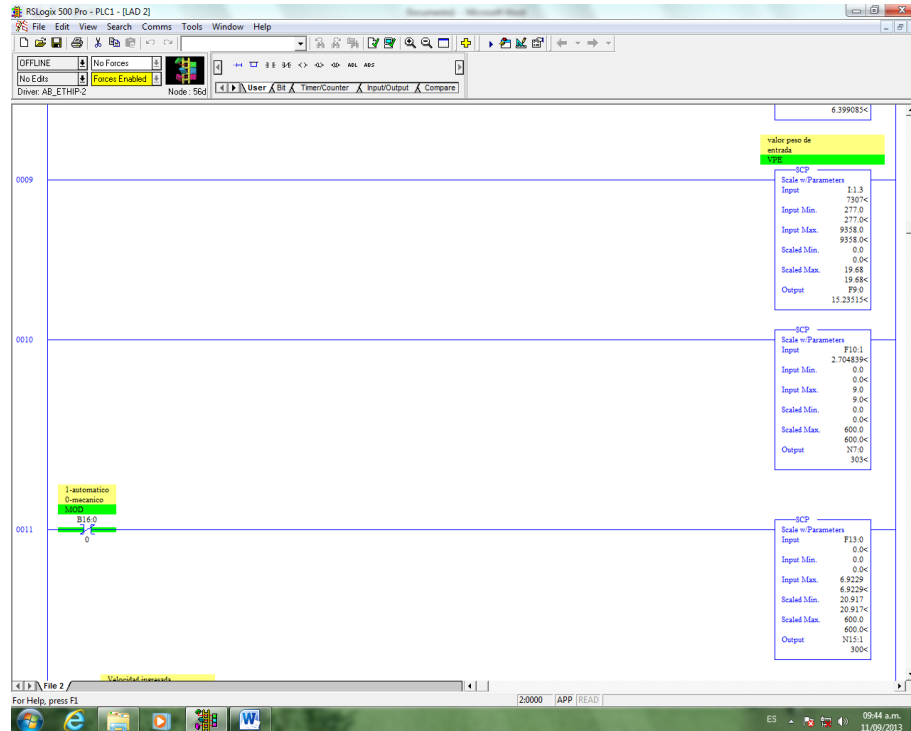
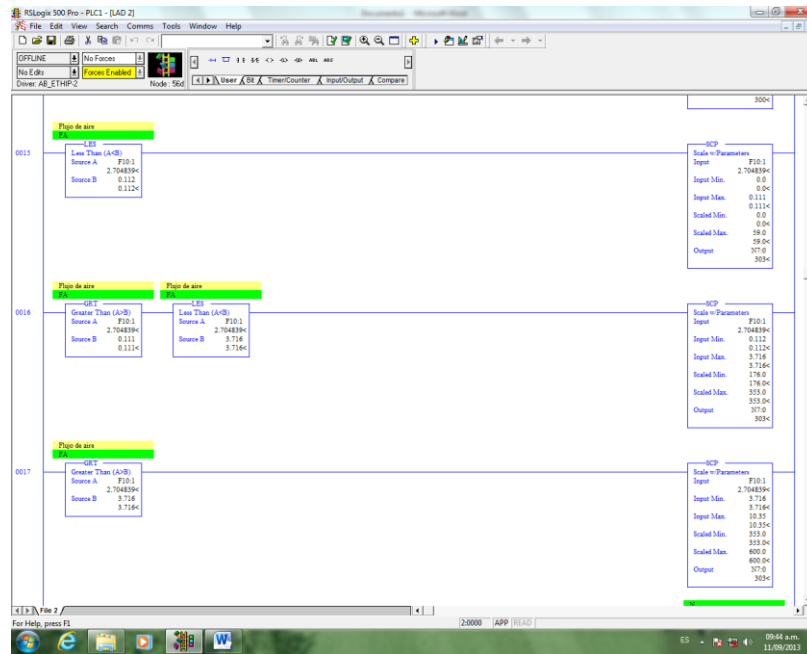


Figura 41. Programación Ladder 3



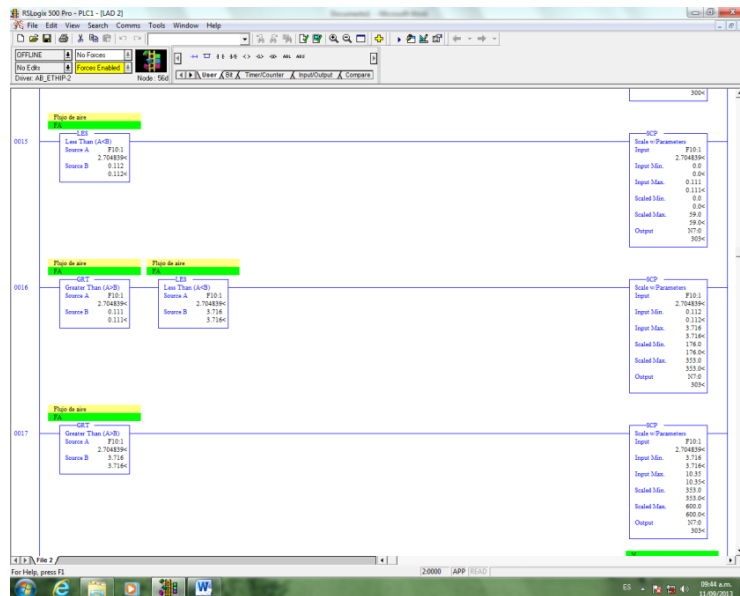
En la figura 42, la programación Ladder 4 verifica si el sistema está en modo manual, para evaluar en qué parte de la gráfica de relación entre frecuencia y velocidad anteriormente mencionada, se encuentra la velocidad ingresada y se hace la conversión.

Figura 42. Programación Ladder 4



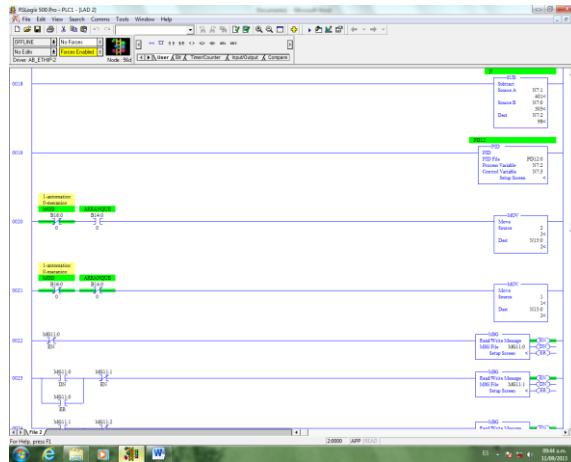
En la Figura 43. Programación Ladder 5, se observa cuando el sistema está en modo automático y hace la conversión entre el flujo deseado y la frecuencia que se debe enviar al motor.

Figura 43. Programación Ladder 5



De la Figura 44. Programación Ladder 6, hasta la línea 25 en la Figura 45. Programación Ladder 7, se hace el arranque del motor y la selección de la frecuencia a la cual trabajará.

Figura 44. Programación Ladder 6



De la línea 26 en la Figura 45. Programación Ladder 7, hasta la figura 48, Programación Ladder 10, se verifica en qué modo se encuentra el sistema. De estar en modo automático se modifican los valores del flujo de aire deseado, a medida que se realizan las cinco corridas.

Figura 45. Programación Ladder 7

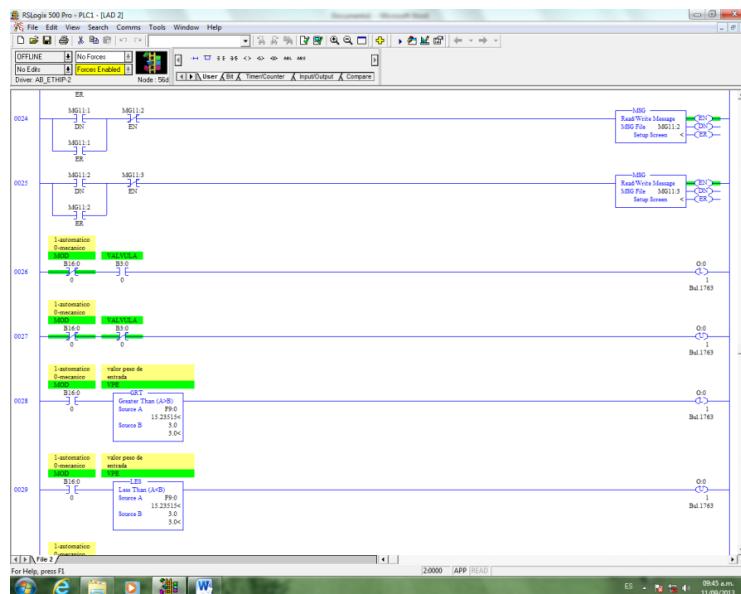


Figura 46. Programación Ladder 8

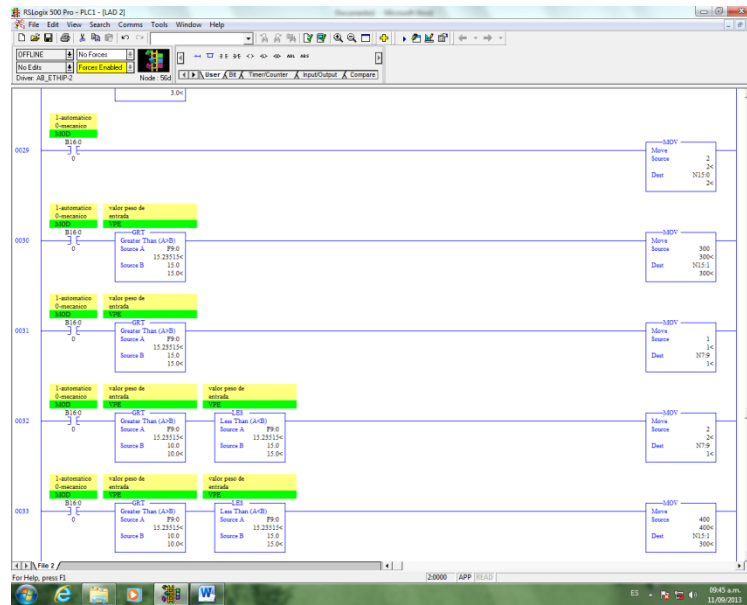


Figura 47. Programación Ladder 9

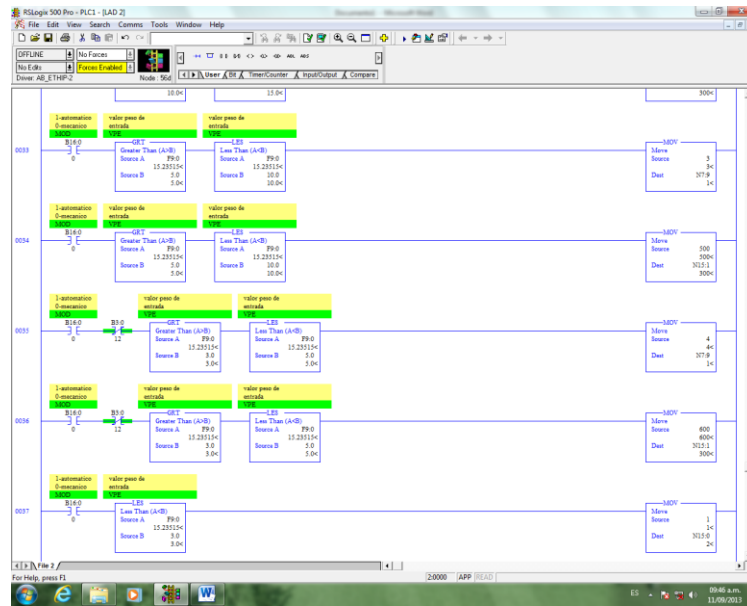
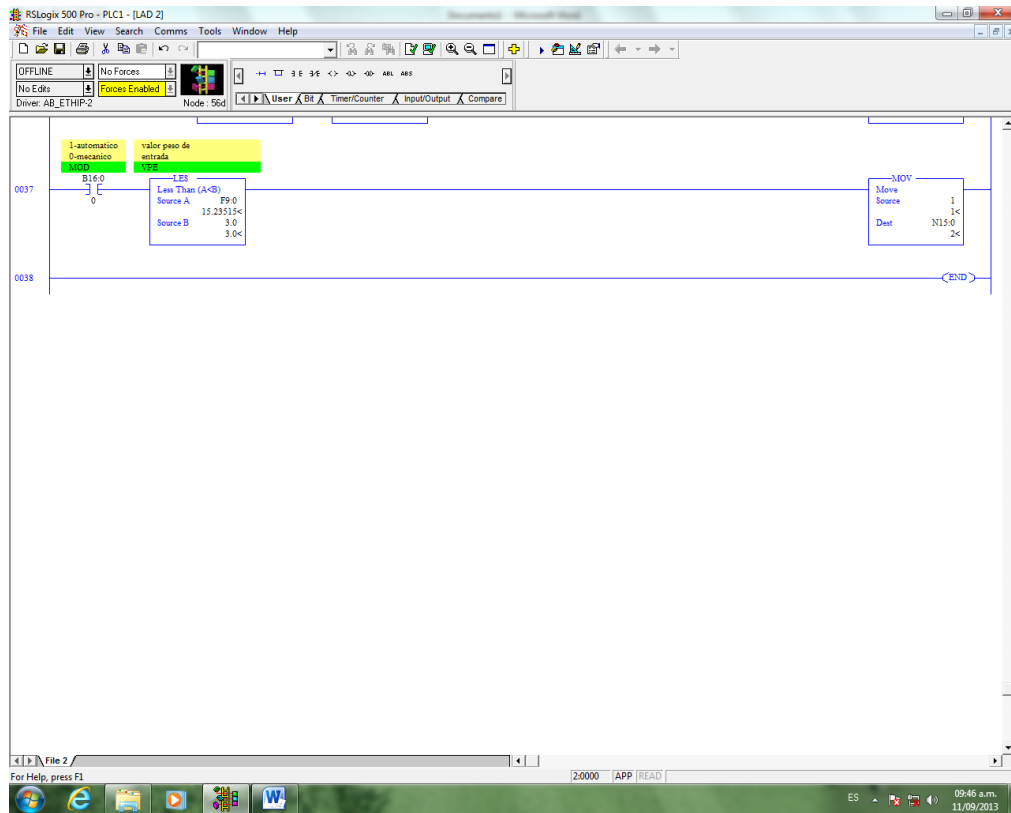


Figura 48. Programación Ladder 10



E. INTERFAZ HMI

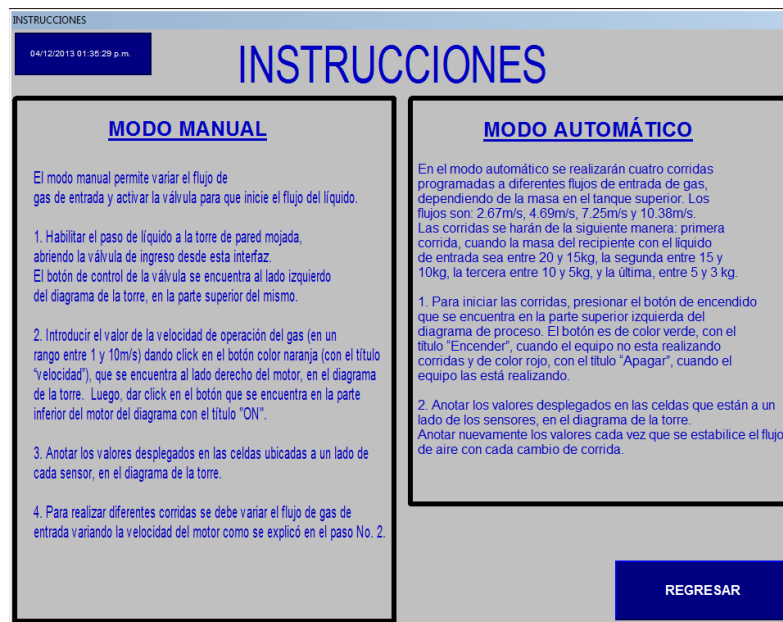
La interfaz hombre máquina se trató de hacer lo más amigable posible para el usuario, porque las personas que utilizarán el equipo serán estudiantes de Ingeniería Química y no es necesario que posean amplios conocimientos en programación de PLC o interfaz. Como se puede ver en la figura 49, presentación HMI, la interfaz tiene una pantalla de presentación con el logo de la universidad y las personas que realizamos el trabajo, lo cual se debe a estándares de la universidad.

Figura 49. Presentación HMI



La Figura 50. Instrucciones., es la pantalla posterior a la de presentación y posee las instrucciones que indican todo lo necesario para operar de una buena manera el equipo.

Figura 50. Instrucciones del programa



Para el correcto uso del equipo es necesario cumplir ciertos aspectos. Para estar seguros de que el estudiante sabe lo que se debe cumplir antes de operar el equipo, se colocó una pantalla con una lista de chequeo, como se puede ver en la Figura 51. **Lista de chequeo**. En esta pantalla se selecciona de qué forma se desea operar el equipo, de forma manual o automática.

Figura 51. Lista de chequeo

WORLD SYSTEM

LISTA DE CHEQUEO

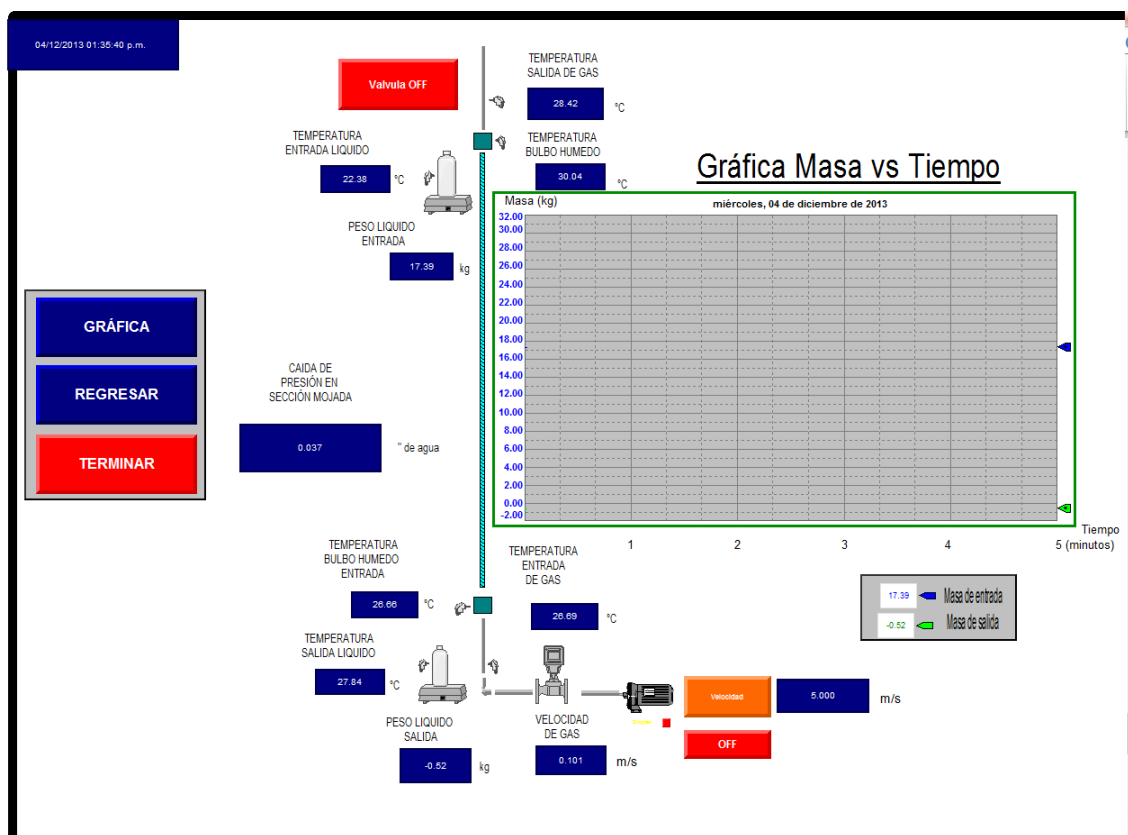
ANTES DE EMPEZAR LA PRÁCTICA REVISAR LO SIGUIENTE:

1. Verificar que la válvula de paso de entrada de líquido se encuentre cerrada. Esta válvula se encuentra en la parte superior de la torre, a la salida del recipiente, y forma un bypass con la válvula solenoidal.
2. Verificar que la válvula de entrada de gas se encuentre abierta. (Gírala en sentido contrario a las manecillas del reloj). Esta válvula se encuentra a la salida del soplador. Para más información ver manual de usuario.
3. Colocar el volumen de líquido a usar en el recipiente de la parte superior de la torre. El volumen a usar no debe exceder 25kg.
4. Remover el tapón macho en los acoples tipo T, en la parte de calma superior e inferior, para humedecer el forro térmico de los vástagos de los sensores RTD. Para humedecer el forro se debe utilizar una pizeta que contenga el líquido de trabajo.
5. Verificar que la faja del soplador y las poleas giren libremente.

MANUAL AUTOMÁTICO REGRESAR

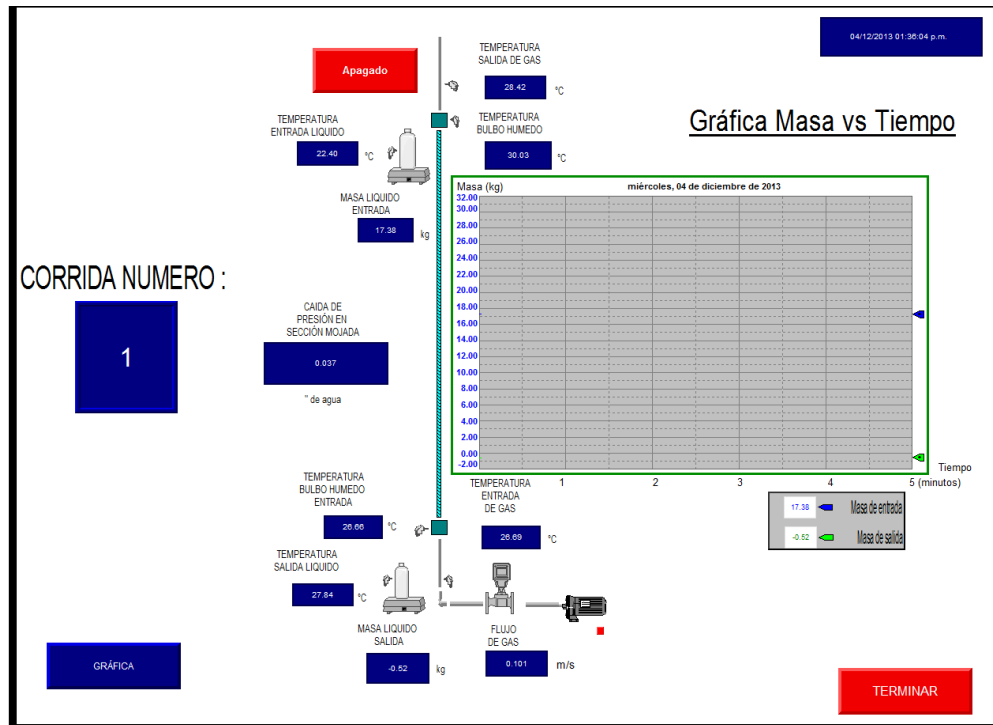
Si se selecciona la forma manual del sistema aparecerá una pantalla con un diagrama del proceso, como se puede ver en la Figura 52. Diagrama modo manual. En esta pantalla se pueden observar todas las variables de proceso, controlar las válvulas y el flujo del gas. Se posee una vista de la gráfica generada por la variación del peso en los tanques vs el tiempo que transcurre.

Figura 52. Diagrama modo manual



En caso contrario, si se selecciona el modo automático se pueden observar las mismas características que en el modo manual, como se ve en la figura 53, diagrama modo automático, con la diferencia que el estudiante sólo puede dar inicio a la práctica. El programa automáticamente realizará cinco corridas y llevará a cabo todo lo necesario para variar el flujo y hacer el control de válvulas.

Figura 53. Diagrama modo automático



A pesar de que en las pantallas de modo automático y manual se tiene una gráfica para ver la variación del peso, se colocó una pantalla dedicada exclusivamente a la graficación de la variación del peso. Esta decisión se tomó para que el estudiante pueda apreciar todos los detalles, como se puede ver en la Figura 54. Gráfica de masa vs tiempo.

Figura 54. Gráfica de masa vs tiempo



F. RESULTADOS DE OPERACIÓN DEL PROCESO

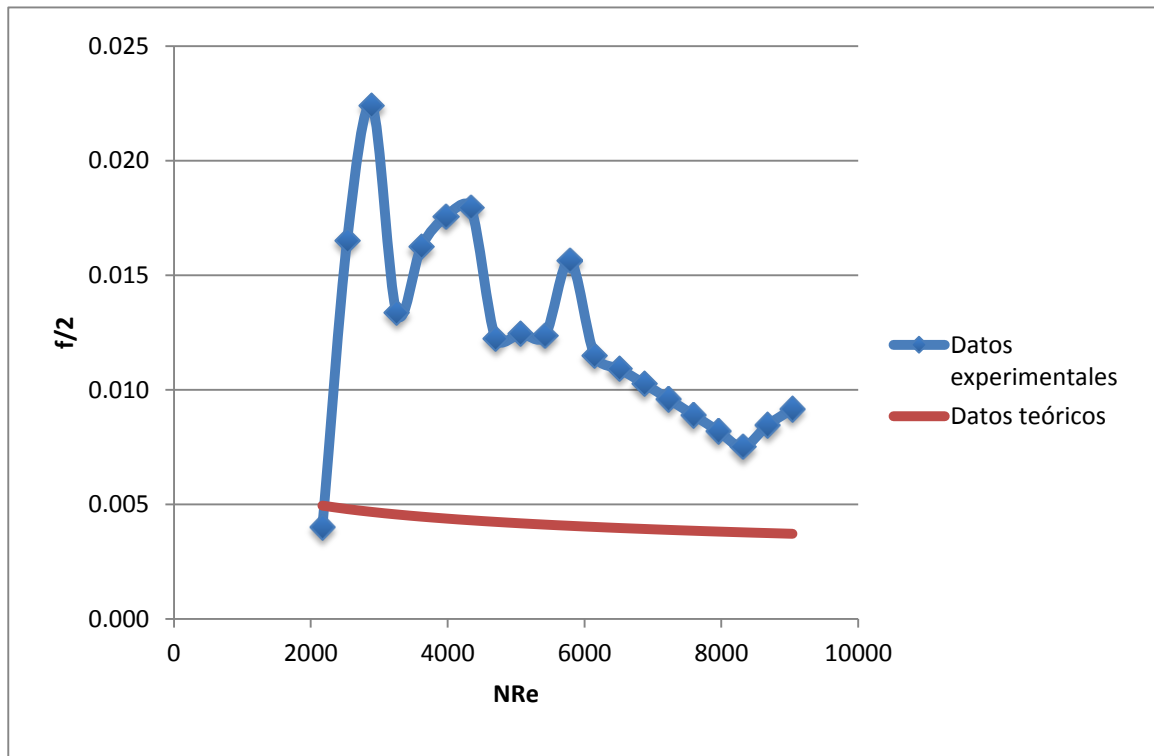
Dado que uno de los objetivos es que los estudiantes puedan realizar prácticas de transferencia de masa, se debe verificar la confiabilidad y veracidad de los datos obtenidos en la torre de pared mojada. El primer dato que se desea evaluar es la ecuación de Fanning, la cual nos indica el coeficiente de fricción de la torre.

El coeficiente de fricción nos indica con qué facilidad se mueven los fluidos dentro de la torre. Se tiene una expresión determinada para cada tipo de material y sistema, en nuestro caso es un tubo liso. La comparación entre la ecuación experimental y teórica se puede observar en la Tabla 33: Ecuaciones que correlacionan los datos experimentales para el factor de Fanning. En la Figura 55. Correlación de los datos experimentales para el factor de Fanning, se puede observar el resultado del coeficiente de fricción de la torre para agua con diferentes flujos de aire que se ven representados en una variación en el número de Reynolds.

Tabla 33: Ecuaciones que correlacionan los datos experimentales para el factor de Fanning

Descripción	Ecuación
Ecuación teórica para tubos lisos	$(f/2) = 0.08N_{Re}^{-0.23}$
Ecuación experimental para tubos lisos	$(f/2) = 0.11N_{Re}^{-0.26}$

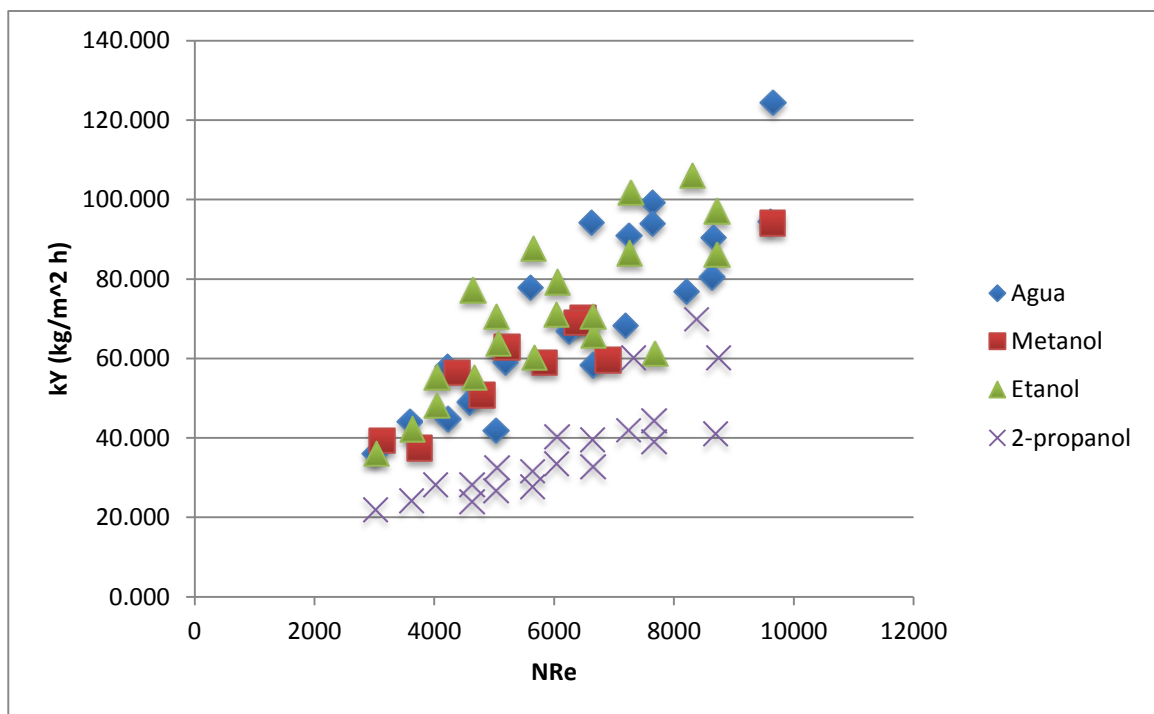
Figura 55. Correlación de los datos experimentales para el factor de Fanning con teóricos



Sabiendo ya el comportamiento de la torre como un tubo liso, se puede proceder a evaluar los coeficientes de transferencia de masa. Con respecto al gas siempre se utilizó aire natural, y la variante que se tuvo fue el líquido. Los

coeficientes de transferencia de masa, para los diferentes líquidos a distintos números de Reynolds, creados por la variación en el flujo de aire, se pueden observar en la figura 56, coeficientes locales de transferencia de masa para líquidos hacia el aire.

Figura 56. Coeficientes locales de transferencia de masa para líquidos hacia el aire



G. COSTO DEL PROYECTO

Tabla 34. Costo de proyecto

Descripción	Proveedor	Precio Unitario (Q)	Total (Q)
Prensa estopas o conector glándula plástico con tuerca 3/4"	Anclo	Q. 21.98	Q. 549.50
Abrazadera tipo clevis 1 "	Anclo	Q. 7.03	Q. 70.30
Clip tipo hanger 1"	Anclo	Q. 1.55	Q. 15.50
Cable TSJ 4 alambres calibre 12	Celasa	Q. 16.89	Q. 68.90
Canaleta eléctrica plástica 40X60MMX2MT ranurada	Celasa	Q. 115.67	Q. 578.35
Cable 14 AWG color blanco	Celasa	Q. 1.93	Q. 38.60
Cable 14 AWG color verde	Celasa	Q. 1.93	Q. 38.60
Tubo LT flexible 3/4"	Celasa	Q. 6.04	Q. 84.56
Abrazaderas Omega para uso pesado para tubería de 3/4"	Celasa	Q. 0.57	Q. 17.10
Abrazaderas Omega para uso pesado para tubería de 1/2"	Celasa	Q. 0.48	Q. 48.00
Varilla roscada unicanal de 3/8"	Celasa	Q. 9.75	Q. 29.25
Tubo conduit de 3/4" X 3MT	Celasa	Q. 60.20	Q. 240.80

Continuación tabal 34

Descripción Total (Q)	Proveedor	Precio Unitario (Q)	Total (Q)
Condulet T de 3/4" con tapadera	Celasa	Q. 18.76	Q. 281.40
Riel Unicanal P-1000 perforado 3 MT de largo	Celasa	Q. 163.33	Q. 163.33
Conectores BX recto 3/8" con abrazadera para cable 3/8"-1/2"	Celasa	Q. 1.61	Q. 4.83
Tuerca unicanal con resorte de 3/8"	Celasa	Q. 7.62	Q. 76.20
Cable 14 AWG color negro	Celasa	Q. 1.93	Q. 38.60
Buje qd para polea	Componentes Industriales	Q. 175.00	Q. 175.00
Polea Diámetro de 10cm (4") tipo A	Componentes Industriales	Q. 329.00	Q. 329.00
Recipientes Carboy de polietileno capacidad 5 galones	Dilab	Q. 1,720.15	Q. 3,440.30
Cable Belden 9533	Intek	Q. 3.95	Q. 395.00
PLC ML1100	Intek	Q. 2,051.20	Q. 2,051.20
Cable 18 AWG color azul	Intek	Q. 2.61	Q. 261.00
Cable 18 AWG color rojo	Intek	Q. 2.61	Q. 261.00
Módulos RTD	Intek	Q. 1,597.00	Q. 3,194.00
Switch Ethernet 4 o 6 puertos riel din 24 vdc	Intek	Q. 2,641.95	Q. 2,641.95
Contactador	Intek	Q. 270.75	Q. 270.75
Variador de frecuencia	Intek	Q. 1,575.85	Q.1,575.85
Contactos NC	Intek	Q. 27.98	Q. 139.90
Contactos NO	Intek	Q. 27.98	Q. 223.84
Base	Intek	Q. 12.31	Q. 110.79

Continuación Tabla 34

Descripción	Proveedor	Precio Unitario (Q)	Total (Q)
Borneras	Intek	Q. 3.68	Q. 184.00
Topes	Intek	Q. 5.36	Q. 107.20
Bornera de tierra	Intek	Q. 17.95	Q. 89.75
Breaker	Intek	Q. 90.86	Q. 90.86
Jumper	Intek	Q. 11.32	Q. 113.20
Tapadera doble piso	Intek	Q. 3.09	Q. 30.90
Módulos análogos	Intek	Q. 1,114.10	Q. 1,114.10
Tapadera para tierra	Intek	Q. 2.15	Q. 21.50
Tapadera	Intek	Q. 2.00	Q. 40.00
Gabinete (600mm de alto x 500mm de ancho y 200mm de fondo)	Intek	Q. 1,485.00	Q. 1,485.00
Fuente de Poder	Intek	Q. 1,099.33	Q. 1,099.33
Breaker	Intek	Q. 90.86	Q. 181.72
Borneras doble piso	Intek	Q. 27.57	Q. 1,378.50
Riel din	Intek	Q. 26.25	Q. 262.50
Push botón verde	Intek	Q. 21.05	Q. 42.10
Push botón rojo	Intek	Q. 27.98	Q. 55.96
Luces piloto verde	Intek	Q. 13.63	Q. 27.26
Luces piloto rojo	Intek	Q. 13.63	Q. 27.26
Base con led roja	Intek	Q. 93.12	Q. 186.24
Base con led verde	Intek	Q. 93.12	Q. 186.24
Selector	Intek	Q. 30.66	Q. 122.64
Botón de emergencia	Intek	Q. 95.00	Q. 95.00
Machón doble 316 npt 1'''	Mainco	Q. 32.04	Q. 128.16
Unión universal roscada ss316l 1'''	Mainco	Q. 121.07	Q. 968.56

Continuación Tabla 34

Descripción	Proveedor	Precio Unitario (Q)	Total (Q)
Tubo de acero inoxidable 316 SST cedula 40 1"	Mainco	Q. 107.55	Q. 1,290.60
Codos roscados 90 grados para tubo 1"	Mainco	Q. 44.52	Q. 44.52
ABRAZADERAS DE MANGUERA 1"	MISA	Q. 8.00	Q. 16.00
ABRAZADERAS DE MANGUERAS 1.5"	MISA	Q. 9.00	Q. 18.00
MANGUERA CORRUGADA 1"	MISA	Q. 30.00	Q. 15.00
MANGUERA TRANSPARENTE PVC 1/4"	MISA	Q. 14.00	Q. 28.00
MANGUERA DE HULE 1/8"	MISA	Q. 28.00	Q. 56.00
Faja A 42	NILS PIRA Y CIA. S.A.	Q. 34.20	Q. 34.20
Plancha Plexiglás 1/20" 9X12	Novex	Q. 21.00	Q. 84.00
Reductor campana de 1" a 1/2"	Novex	Q. 11.00	Q. 22.00
Sensor de presión diferencial de gas, indicador	Reset	Q. 3,289.00	Q 6,578.00
Válvula 1/8" NPT Solenoid bobina 110 VAC	Reset	Q. 1,602.00	Q 1,602.00
RTD sensor de temperatura 3 hilos	Reset	Q. 1,555.00	Q. 9,330.00

Continuación Tabla 34

Descripción	Proveedor	Precio Unitario (Q)	Total (Q)
Plataforma de pesaje Mettler Toledo PBA220- QB35. Capacidad de 35kg, resolución de 0.01kg, dimensiones de 12"x12".	Sipesa		Q. 6,630.00
Indicador Mettler Tolero IND110 para montaje en carril DIN, salida analógica 4-20mA	Sipesa		Q. 9,360.00
Cable plataforma-indicador EL-146	Sipesa		Q. 1,170.00
Botes de vidrio de Reactivo grandes	UVG	Q.-	Q.-
Motor 1 HP de 220V trifásico	UVG		
			<u>Q.62,479.70</u>

Tabla 35. Gastos extras

Proveedor	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Total
M.I.S.A	9	pies	Manguera 1/4" polietileno	Q. 3.00	Q. 27.00
M.I.S.A	3		conectores en Y 1/4"	Q. 8.00	Q. 24.00
M.I.S.A	2		conectores rápidos roscados 1/4"	Q. 8.00	Q. 16.00

Continuación Tabla 35

Proveedor	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Total
Orion	2		uniones reducidoras neumáticas de 1/4" x 1/4" NPT	Q. 23.30	Q. 46.60
Orion	2		uniones reducidoras neumáticas de 6mm x 1/8" NPT	Q. 21.17	Q. 42.34
Orion	1		válvula de bola en bronce de 1/4" NPT	Q. 159.04	Q. 159.04
Orion	4		uniones reducidoras neumáticas de 5/16" x 1/4" NPT	Q. 26.66	Q. 106.64
Orion	10	metros	metros manguera TYGON sin malla de 3/16" interior	Q. 18.82	Q. 188.20
HASA	1		polea tipo A de 4" de diámetro con instalación	Q. 155.00	Q. 155.00
Vidriería Palacios	2		cortes frascos de vidrio	Q. 40.00	Q. 80.00
Novex	2		niple corrida 1"	Q. 4.00	Q. 8.00
Novex	2		niple hg 1x2"	Q. 5.00	Q. 10.00
Novex	1		reducidor bushing 1 1/4 " a 1"	Q. 9.00	Q. 9.00
Novex	5		roldana acero 3/8 "	Q. 0.35	Q. 1.75
Novex	10		tuerca acero 3/8 "	Q. 0.50	Q. 5.00

Continuación Tabla 35

Proveedor	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Total
Novex	2		tuerca mariposa 1/4"	Q. 0.65	Q. 1.30
Novex	2		tornillo hexagonal M5X30	Q. 0.50	Q. 1.00
Novex	2		Cable THHN-14 verde	Q. 2.80	Q. 5.60
Novex	3		niple hg 1x2"	Q. 5.00	Q. 15.00
Novex	1		cruz HG 1"	Q. 20.00	Q. 20.00
Novex	2		reductor campana HG 1 a 1/2"	Q. 11.00	Q. 22.00
Novex	2		reductor campana HG 1 a 1/4"	Q. 7.90	Q. 15.80
Novex	2		reducidor bushing HG 1/4 a 1/8"	Q. 6.70	Q. 13.40
Novex	2		tapón macho HG 1"	Q. 5.00	Q. 10.00
Cemaco	1		set de empaques	Q. 29.99	Q. 29.99
Cemaco	1		pegamento epoxi	Q. 50.00	Q. 50.00
				Total	Q. <u>1,062.66</u>

Tabla 36. Comparación de costos según alternativas para la realización del Megaproyecto

Alternativa		
Estudiantes	Empresa externa	Compra directa
Q 62,478.70	Q 111,346.50	Q 374,549.60

Ver anexos adjuntos.

X.DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para desarrollar este proyecto se tomó en cuenta que la estructura con la que se contaba ocupaba un área de 1.78 m². La dificultad radicaba en que las autoridades deseaban optimizar el espacio en el laboratorio, por lo que necesitaban que la torre ocupara como máximo 1 m², y esto repercutía con la estabilidad de la torre, la cual se veía afectada. Otro aspecto importante tomado en consideración es que se debía contar con un área para que los estudiantes operaran la torre, con seguridad, sin importar la altura, pues al inicio de las prácticas es necesario llenar de líquido el tanque superior y esto implica levantar cinco galones de agua y los estudiantes corren el riesgo de caerse.

Siguiendo con los aspectos de seguridad, era necesario contar con un acceso adecuado y seguro a la torre para los estudiantes. Así se llegó al diseño de una estructura fuerte y estable, a pesar de la reducción del área. Ello se logró colocando una tubería de perfil cuadrado de 3" de grosor y fijándola, por medio de tornillos, al piso. Como lugar de operación para el llenado del tanque superior se colocó una baranda alrededor del área, para así evitar que el usuario pudiera sufrir algún tipo de caída.

La seguridad en el acceso se garantizó mediante la colocación de un pasamanos para ayudar al usuario y se verificó el ángulo de inclinación y la separación entre los peldaños de la escalera, para que estos fueran lo más seguros posibles. Quizás la reducción del área de trabajo puede provocar que sea incómodo y difícil el llenado del tanque superior. Por esta razón se había propuesto un sistema de bombeo para el llenado del tanque pero, por carencia de presupuesto, se descartó.

Para el diseño de la estructura se tomó en cuenta el aspecto económico, motivo por el cual se utilizó la parte superior de la estructura ya existente, para ahorrar material. La parte superior empleada se modificó, dado que anteriormente la torre

era de tubo PVC y no necesitaba soporte. La torre actualmente posee partes de acero al carbón e instrumentación pesada, y se reforzó la parte superior para soportar toda la carga que esta representa. Ello hace que la torre no esté totalmente alineada, lo cual puede afectar su coeficiente de fricción.

La torre contaba con distribuidores de acrílico y reductores de PVC, al igual que las secciones de calma. El PVC fue reemplazado por acero al carbón. Esto se hizo pues sus acoples no son compatibles con el acero inoxidable. Los distribuidores eran de acrílico, y aquí la dificultad radicaba en que, cuando se utilizan ciertos solventes, el acrílico se opaca, se deteriora y no permite la visibilidad. Para remediar este problema se decidió cambiar el acrílico por vidrio. Ello implica que el distribuidor no puede soportar peso porque se quiebra, por lo cual se debe centrar el distribuidor mediante los sujetadores a la torre y, debido a la robustez de los materiales, no se logró a la perfección.

El flujo de aire de entrada a la torre se controlaba cambiando de posición la faja que conecta el motor al ventilador. Este cambio se hacía para colocarla en un eje de menor o mayor tamaño y así variar la relación y, con esto, alterar el flujo. La desventaja del modo de realización anterior era que el flujo se determinaba únicamente por las diferentes poleas con las que se contaba y hacer el cambio de la faja podía ser peligroso y difícil. Por esa razón se colocó un variador de frecuencia y con esto se eliminó todo contacto con el motor y el ventilador. Así se obtuvo un rango de flujos disponibles más amplio. La comunicación del variador de frecuencia con el PLC se hizo por medio de comunicación modbus RTU, pues este era uno de los objetivos del proyecto y con comunicación modbus se pueden obtener datos sobre el estado del variador de frecuencia.

Con la comunicación modbus se tiene un mayor control sobre el variador, lo cual es más ventajoso que el hecho de enviarle sólo un valor analógico. De este modo se puede obtener información sobre el estado del motor. Para realizar el control del flujo se implementó un control PID, el cual ayuda a que el desgaste del

motor no afecte el valor del flujo de gas. A pesar de que el PID es un control que ayuda a que el error, con respecto al flujo, sea mínimo, este siempre se encuentra presente, por lo cual se debe tomar el valor del flujo dado por el sensor y no el indicado por el operario.

El flujo de aire de entrada se medía colocando un anemómetro en la entrada de aire al ventilador y, como se sabe, en el área de la tubería era posible obtener el flujo. Esta medida se desviaba de la real, por lo que se consideró inicialmente conseguir un medidor de flujo másico. Sin embargo, su precio era muy elevado y la precisión que nos proporcionaba excedía la necesaria. Por ello se determinó que una forma correcta de medir el flujo era por medio de la presión diferencial y una placa de orificio.

Para colocar la placa de orificio se consideraron los diámetros necesarios antes y después de la placa para evitar un flujo turbulento. Al tener una placa de orificio, se hizo una medición indirecta y, en los cálculos, el error del sensor de presión diferencial se aumentó.

En la torre se medía la humedad pero su diseño era únicamente pensando en que el líquido fuera agua. Como estaba propuesto utilizar otros líquidos, propusimos calcular la humedad por medio de la comparación de dos mediciones de temperatura, bulbo seco y húmedo. El bulbo húmedo se debía estar humedeciendo constantemente y no se sabía el nivel de humedad al cual se encontraba, lo cual hacía que su medición no tuviera una buena repetitividad.

La medición de la temperatura en la torre se hacía con termómetros de mercurio, pero estos instrumentos no proporcionan una señal que pueda ser ingresada a la computadora y la toma de datos dependía del observador. Por eso estos termómetros se reemplazaron por RTD, pues por el rango de operación no era necesario el uso de termocupla. La RTD utilizada fue la PT100 porque es lineal y se ajusta a lo que se necesitaba. El problema que se presentó con la instalación

de las RTD fue que el tamaño del vástago era grande en comparación con el diámetro de la tubería empleada.

Era necesario medir la temperatura en el centro y que el instrumento no tocara las paredes del tubo. Para solucionar este problema se colocaron acoples tipo T en la tubería y así se logró hacer espacio para que el lugar de medición de la RTD estuviera ubicado en el centro. Para la temperatura de bulbo húmedo se colocó un acople de cuatro vías, tres de estas igual que el tipo T y la cuarta para facilitar la colocación de una membrana húmeda, pues al colocar tantos acoples aumentaban las posibles fugas.

Todos los equipos para medir la temperatura fueron calibrados y verificados, para que el error en la medición fuera mínimo. Así se logró que el error fuera menor a 1%, lo cual es aceptable porque representa menos de 0.5C.

Otra variable importante por medir era la caída de presión en el interior de la torre. Esta medición se hizo de manera directa, con un sensor de presión diferencial. Se consideró colocar dos sensores de presión y obtener la diferencia pero, por motivos económicos, se decidió colocar un solo sensor. El problema radicaba en que el rango de operación era muy pequeño, por lo que se dificultaba la selección de un sensor que cumpliera los aspectos técnicos y económicos. Los cambios en la presión eran muy pequeños y con la resolución del sensor no siempre era posible detectarlos.

Al igual que las RTD, los sensores de presión fueron calibrados y verificados. El error máximo obtenido es de 4.85%, lo cual se debe a que la distancia entre el sensor y el proceso es de aproximadamente 1m. Al tener esta distancia el fluido pierde presión a lo largo de la tubería.

El intercambio de masa entre las sustancias se puede evidenciar en la diferencia entre el peso del líquido que entra y el que sale. Es decir, si entran 10kg

de líquido y al final tenemos solo 9.5kg, quiere decir que 0.5kg fueron transferidos al aire. Para medir esta diferencia se colocaba el recipiente superior en una balanza y, al finalizar, se medía el inferior para obtener esa diferencia. Lo que se hizo en este proyecto fue colocar una balanza bajo cada recipiente, para tener el valor del peso en todo momento y así poder monitorear el intercambio de masa. Para la selección de las balanzas se tomó el peso total del líquido con los recipientes. Ello hizo que el rango aumentara y por eso la sensibilidad de las balanzas se tuvo que disminuir. Este motivo pudo haber afectado la fiabilidad de los resultados de las prácticas. Otro aspecto importante es que no se tomó en cuenta el líquido que quedó en el interior de la torre.

Para la conexión entre los instrumentos y la unidad de control fue necesario la instalación de cableado eléctrico. Para ello se tomaron en cuenta diferentes consideraciones para que las señales tuvieran el menor ruido posible. Uno de los requisitos fue la separación de la tubería de 110V AC con respecto a la de 24V DC y a las de señales. En un inicio se consideró que las tuberías pudieran estar ocupadas por cableado en un 40%. El problema se dio cuando no se encontró el calibre de cable requerido ni los pares necesarios, por lo cual se optó por utilizar el que ya existía en el laboratorio. Este aspecto podía influir en las señales, sin embargo se pensó que, por los bajos voltajes y corrientes con las que se trabaja, no constituía un aspecto que afectara significativamente los resultados.

Otro elemento analizado fue la colocación de los elementos dentro del panel de control, pues existían aspectos como la fuente de voltaje y el variador de frecuencia que emitían calor. Este podía deteriorar la electrónica del PLC y con ello reducir su tiempo de vida. La colocación de los elementos se realizó tomando en cuenta que los emisores de más calor estuvieran colocados en la parte superior y a la izquierda del panel. Se continuó con la separación de los cables de 110V AC haciendo que estos entraran por la parte superior izquierda, en tanto todas las señales y voltajes 24V DC tienen entrada y salida por la parte inferior. En el interior

se evitó que se cruzaran pero en un punto fue imposible impedirlo. Esto pudiera introducir ruido, pero no de modo significativo.

La programación de control se trató de hacer de la manera más sencilla posible, para que en futuras ocasiones si algún estudiante desea continuar con el proyecto sea de fácil entendimiento. En la interfaz gráfica se trató de tener la menor cantidad de pantallas posibles, con el objetivo de que el estudiante tenga lo necesario en una y con esto no pierda tiempo en la navegación ni se complejice la forma de operar. Los colores utilizados son pálidos y claros para que la vista no se vea forzada, los datos puedan resaltar y sean de fácil ubicación. Otro aspecto importante que se consideró fue la realización de programación defensiva en la colocación de datos, para que no se generen errores.

Como se puede ver en la Tabla 32. Ecuaciones que correlacionan los datos experimentales para el factor de Fanning, y en la Figura 55. Correlación de los datos experimentales para el factor de Fanning con teóricos, el valor del número de Fanning difiere entre el experimental y el teórico. Esto sucede porque la superficie del área de transferencia no es completamente lisa, pues el tubo de vidrio utilizado se seccionó y unió con silicón pero no se pudo garantizar que en el interior quedara liso. Otro aspecto que pudiera alterar la medición es que la diferencia de presión entre la entrada y salida de la torre es muy pequeña y se ve afectada por la precisión del sensor. Este error repercute en los datos obtenidos en los coeficientes de transferencia de masa, haciendo que el más cercano sea de 93% y el menor de 83%.

El precio total del proyecto fue considerado como aceptable, contemplando que toda la mano de obra fueron estudiantes y personal de la universidad. A pesar de que se realizó una buena planificación, se tuvieron gastos extras que se pueden apreciar en la Tabla 14, y que corresponden a gastos no contemplados o daños a los materiales que ya se tenían. Estos gastos extras representan un 1.7%

del costo del proyecto, por lo cual se considera aceptable aunque no se tomó en cuenta el valor de la mano de obra.

XI.CONCLUSIONES

- 1- Se llevó a cabo la restauración e instalación de instrumentos para realizar el monitoreo de la torre de pared mojada del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, con el fin de que sea utilizada por los estudiantes en prácticas de transferencia de masa.
- 2- De acuerdo con las verificaciones realizadas en los instrumentos de medición, el error máximo obtenido es del 4.5% para los sensores de presión y de acuerdo con su arreglo, el error es aceptable.
- 3- De acuerdo con el costo de los cambios e instalación de equipos de medición en la torre de pared mojada, este fue 43.88% menos que la propuesta entregada por una empresa externa
- 4- Se realizó una estructura de 1m x 1m de base y 4.37m de altura, para que la torre de pared mojada ocupe como máximo 1m² de área y se colocaron escaleras nuevas para facilitar el acceso de los estudiantes a la torre y así evitar posibles accidentes.
- 5- Para la operación de la torre se implementó una interfaz, hombre-máquina de control, con modo manual y automático, la cual despliega los datos de medición.
- 6- Se implementó el protocolo de Comunicación Modbus, entre el PLC y el variador de frecuencia para tener un mejor control del mismo.

XII.RECOMENDACIONES

1. Realizar una calibración de todos los sensores y la verificación de su correcto funcionamiento, para garantizar la validez de los datos desplegados en la interfaz.
2. Agregar cinta antideslizante en los peldaños de la escalera, para evitar que los estudiantes resbalen.
3. Colocar un sistema de bombeo manual o automático para el llenado del tanque superior y así evitar que el estudiante sufra algún accidente al llenarlo.
4. Instalar un sistema para calentar el líquido y el gas, para que así se puedan realizar también prácticas de transferencia de calor.
5. Colocar una válvula proporcional en vez de la On/Off, debido al cambio de presión por el nivel del tanque.
6. Verificar la curva característica del motor antes de realizar la práctica, teniendo en cuenta que las partes mecánicas del ventilador se desgastan fácilmente.
7. Colocarle una protección al tubo de vidrio de la torre para evitar que este se quiebre.
8. Cambiar el tubo de vidrio por un tubo de una pieza, para evitar que en las uniones se pierda la continuidad de la película de agua.

XIII.BIBLIOGRAFÍA

1. Burmester, J.C. 2011. Presentaciones del curso *Instrumentación electrónica*.
2. Guadayol, J. 2010. *La automatización en la ingeniería química*, Catalunya, Universidad Politécnica de Catalunya.
3. Jackson, M.L. y N.H. Ceaglske. 1950. "Distillation, vaporization, and gas absorption in a wetted-wall column". *Industrial and Engineering Chemistry* 42:1188-1198.
4. McMillan, G.K. 1999. *Process/ Industrial instruments and controls*. 5th ed. New Yory, McGraw-Hill.
5. Ramos, J. R. 1997. *Montaje de una torre de paredes mojadas para realizar prácticas de transferencia de masa*. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala.
6. Sherwood, T.K. 1952. *Absorption and extraction*. New York, McGraw-Hill.
7. Treybal, R.E. 1988. *Operaciones de transferencia de masa*. 2da. Ed., México D.F., McGraw-Hill.

XIV.ANEXOS

A. COTIZACIONES

Figura 34 Cotización - Anclo



NIT 3086473-9

Cotización
No. 3976
Ref.

Guatemala, 09
de Junio 2012

Para Srs: Universidad del Valle de Guatemala
Asunto: Cotización Solicitada
Atención
: Christian Rossi

Sr.(Srita): Rossi

Reciba un cordial saludo en nombre de la familia ANCLO CENTROAMERICANA S. A., es un gusto atender

su amable solicitud de cotización de materiales ANCLO, los cuales detallamos a continuación:

CANTIDA D	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	PRECI O	TOTAL
25	PRENSA ESTOPAS O CONECTORES GLANDULA PLASTICOS CON TUERCA 3/4"	Q21.98	Q549.5 0
10	ABRAZADERA TIPO CLEVIS 1" TEIMPO DE ENTREGA 3-4 DIAS	Q7.03	Q70.30
10	CLIP PARA TUBO CONDUIT TIPO HANGLER 1"	Q1.55	Q15.50
	TOTAL =====>		Q635.3 0

Forma de Pago: Crédito

Cantidad en letras: Seiscientos treinta y cinco quetzales con 30/100.

Tiempo de Entrega: 2 a 4 días, después de Confirmada la orden de compra, Salvo Venta Previa.

Productos puestos en sus bodegas dentro del perímetro de la ciudad Capital.

Validez de Oferta: 5 Días. (NO APLICA PARA CABLE)

Anticipadamente y como siempre, gracias por su preferencia y en espera de poder

servirle pronto:

ATENTAMENTE

**Luis Sánchez
Ejecutivo de
Ventas**


TEL. 2378-4300

// 44805014 //

lsanchez@othec.com

Figura 35 Cotización - Celasa

15 (- - 1)

 **CELASA**
DE TODO EN ELECTRICIDAD

PBX: 2270-7777
www.celasa.com.gt
ventas@celasa.com.gt

PROFORMA No. 756619 **FECHA:** 09/06/2012

NOMBRE: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA **NIT:** 1751758-3
DIRECCION: 11 CALLE 15-79 zona 15 VISTA HERMOSA

OBRA: VALIDEZ OFERTA: 1125 **FORMA PAGO:** EFECTIVO **FORMA ENTREGA:**

CODIGO	CANTIDAD	CATALOGO	DESCRIPCION MERCADERIAS	PRECIO UNITARIO	TOTAL
TRX10	14		TUBO BX LT DE 3/4" (PIE)	6.0400	84.56
A2001	100	HS-901/TH-1802	ABRAZADERA CONDUIT DOBLE OREJA 1/2"	.4800	48.00
A2002	30	HS-902/TH-1802	ABRAZADERA CONDUIT DOBLE OREJA 3/4"	.5700	17.10
VA002	3	BR 3B 100	VARILLA ROSCADA UNICANAL DE 3/8"x1MT	9.7500	29.25
TUC52	4	3MC ECO 3/4"	TUBO CONDUIT GALVANIZADO 3/4" 3MT "IMPORTADO"	60.2000	240.80
CLT37	15	OT-0087-C	CONDULET T DE 3/4" CON TAPADERA	19.7600	296.40
CS114	4	3.31MM2	CABLE TSJ 4X12 (METRO)	16.8900	67.56
CNU04	1	UDE 4X4 305	RIEL UNICANAL P-1000 PERFORADO 3MT DE LARGO	163.3300	163.33
CB100	3	C-500/NC-301	CONECTOR BX RECTO 3/8" CON ABRAZADERA PARA CABLE 3/8"-1/2"	1.6100	4.83
TGU02	10	TR 3B	TUERCA UNICANAL CON RESORTE DE 3/8"	7.6200	76.20
LE684	5	656007	CANAL ELECTRICA PLASTICA 40X60MMX2MT RANURADA "LEGRAND"	115.6700	578.35
CHW18	100	3.31MM2	CABLE THHN #12 (METRO) AZUL	2.9400	294.00
CHW18	100	3.31MM2	CABLE THHN #12 (METRO) ROJO	2.9400	294.00
CHW18	100	3.31MM2	CABLE THHN #12 (METRO) BLANCO	2.9400	294.00
CHW17	100	2.08MM2	CABLE THHN #14 (METRO) BLANCO	1.9300	193.00
CHW17	20	2.08MM2	CABLE THHN #14 (METRO) VERDE	1.9300	38.60
DOS MIL SETECIENTOS CUATRO QUETZALES CON 98/100					
ALEXANDER BARRON VENDEDOR SALVADOR/58853799				AUTORIZADO POR:	TOTAL 2,704.98

* Precios incluyen IVA • Precios sujetos a cambio sin previo aviso. • Materiales sujetos a previa venta. • Si paga con cheque emitirlo a nombre de Celasa Ingeniería y Equipos, S.A.

Figura 36 Cotización - Dilab



Página 1 de 1 de Cotización CR-12-05-019

Distribuidora de Laboratorio y Equipo Institucional, S.A.

Guatemala, 08 de mayo de 2012

Cotización CR-12-05-019

Señores
Universidad del Valle de Guatemala
Atención Luis Carlos
Presente

Estimados señores:

Reciba un cordial saludo. En respuesta a su solicitud tengo el gusto de someter a su consideración la siguiente propuesta:

No.	Código	Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor Total
1	BEL-F118470050	1	 Carboy de polietileno con cuello, capacidad de 5 galones, marca Bel Art	Q1,720.15	Q1,720.15
2	BEL-F118460050	1	 Carboy de polypropileno autoclaveable, capacidad de 5 galones, marca Bel Art	Q1,486.50	Q1,486.50
Valores incluyen IVA				Total	Q3,206.65
Son: Tres mil doscientos seis quetzales con sesenta y cinco centavos.					
Entrega por importación 60-90 días, sujeta a existencias del proveedor.					
Crédito 30 días					

Atentamente,

Claudia Rodriguez
Asesora de Ventas
Celular 5206-3914

Sala de Ventas
13 Av. 5-28 Zona 3 Ed. Médico
San Lucas, local 106
Quezaltenango
Tel: (502) 7735-9241
Tel: (502) 7736-8242

Oficinas Centrales y Sala de Ventas
10a. Calle 5-45, Zona 10
Guatemala, Ciudad 01010
Tel: (502) 2361-2540
Fax: (502) 2361-7848

Sala de Ventas
12 Calle 9-31, Zona 1
Guatemala, Ciudad 01001
Tel: (502) 2251-8671
(502) 2251-8672 y (502) 2251-8680
Fax: (502) 2253-3333

infoventas@dilabsa.com * www.dilabsa.com

"Contribuyendo a la Calidad de sus Resultados"

figura 37 Cotización - Intek 1



GT-12-11-1933-1

Página 1 de 2

Señores:

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Atn.: Ing. Christian Rossi

Guatemala, 16 de Mayo del 2,012

Referencia Cliente: OFERTA DE EQUIPO PARA AUTOMATIZACION

Nuestra Referencia: GT-12-11-1933-1

Asunto: O F E R T A

Estimados señores:

Por este medio nos permitimos presentar a usted nuestra oferta, según nos fuera solicitado.

POS	CANT.	DESCRIPCION	PRECIO U.	TOTAL
1	1	[943-376-001] SPIDER 8TX, SWITCH INDUSTRIAL DE 8 PUERTOS COBRE	Q.2,841.95	Q.2,841.95
2	100	[4510023] CABLE H05V-K 1mm ² /18AWG 80°C 500V AZUL (METRO)	Q.2.16	Q.216.00
3	100	4510043 CABLE H05V-K 1mm ² /18AWG 80°C 500V ROJO (METRO)	Q.2.61	Q.261.00
4	100	4510053 CABLE H05V-K 1mm ² /18AWG 80°C 500V BLANCO (METRO)	Q.2.61	Q.261.00
5	1	1763-L16BWA CONTROLADOR ML1100, 120/240VAC, 8 DI 24VDC, 8 DO RELE, 4 HSC@20KHZ	Q.2,051.20	Q.2,051.20
6	1	100-C09L10 CONTACTOR 9A, 3 POL + 1NA, BOB 208-240VAC	Q.270.75	Q.270.75
7	1	22A-B4P5N104 VARIADOR POWERFLEX 4, 1HP, 240V 3AC, 4.5A	Q.1,575.85	Q.1,575.85
8	1	1762-IR4 MODULO DE EXPANSION 4E RTD MICROLOGIX 1200	Q.1,597.00	Q.1,597.00
			TOTAL:	Q.8,874.75

PRECIO TOTAL PARA ESTA OFERTA: Q. 8,874.75

Los precios, se entienden netos del equipo puesto en bodega INTEK, 12.00% de I.V.A. incluido, pagaderos en su equivalente en Quetzalez según el tipo de cambio Bancario de referencia para la venta, del día en que sean realizados los pagos.

DÍAS DE CRÉDITO: 30 DÍAS DE CRÉDITO

PLAZO DE ENTREGA: DE 4 A 6 SEMANAS DESPUES DE RECIBIDA LA ORDEN DE COMPRA

VALIDEZ DE OFERTA: 10 DÍAS

EL SALVADOR
Tel. +503 2260-8888 (PBX)
FAX +503 2260-8855
inteksv@intek-ca.com

GUATEMALA
Via 5 y Ruta 3, 4-35, Zona 4, Esquina - 01004 Guatemala, C. A.
Tel. +502 2361-5977 (PBX) - FAX +502 2334-4337/8
intekgt@intek-ca.com
www.intek-ca.com

HONDURAS
Tel. +504 553-3779
FAX +504 557-8016
intekhn@intek-ca.com

NICARAGUA
Tel. +505 254-4960
FAX +505 254-4960
cmvaldivia@intek-ca.com

Figura 38 Cotización - Intek 2 (página 1 de 2)



GT-12-11-696-2

Página 1 de 2

Señores:

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Atn.: Ing. Christian Rossi

Guatemala, 1 de Junio del 2,012

Referencia Cliente: OFERTA DE PROYECO 2012

Nuestra Referencia: GT-12-11-696-2

Asunto: **O F E R T A**

Estimados señores:

Por este medio nos permitimos presentar a usted nuestra oferta, según nos fuera solicitado.

POS	CANT.	DESCRIPCION	PRECIO U.	TOTAL
1	3	1762-IF4 MODULO ENTRADA ANALOGICA ML1200, 4 AI CORRIENTE/VOLTAJE	Q.1,114.10	Q.3,342.30
2	1	1606-XLE120E 120W. XLE POWER SUPPLY	Q.1,099.33	Q.1,099.33
3	2	1492-SP1B020 INTERRUPTOR AUTOMATICO 1 POLO 2A 277VAC, 3.5 In	Q.90.86	Q.181.72
4	2	1492-SP1B010 492 Supplementary Protectors, 1 pole, Magnetic Trip Range 3.5 x Rated Current (Resistive or Slightly Inductive Loads), 1.0 A	Q.90.86	Q.181.72
5	100	1492-J3 BORNE 2.5MM	Q.3.68	Q.368.00
6	100	1492-JG3 BORNE DE TIERRA 2.5MM VERDE/AMARILLO	Q.17.95	Q.1,795.00
7	50	1492-EBJ3 TAPA FINAL BORNE, GRIS, 1492-J3/J4/J6/J10	Q.2.00	Q.100.00
8	100	1492-EAJ35 TOPE PARA BORNE, GRIS, 1492-J3/J4/J6/J10/L	Q.5.36	Q.536.00
9	20	1492-CJJ510	Q.11.32	Q.226.40
10	50	1492-EBJ3Y	Q.2.15	Q.107.50
11	50	1492-JD3FB BORNE DOBLE 4mm? GRIS CON PORTAFUSIBLE 10A	Q.27.57	Q.1,378.50
12	20	1492-EBJD3FB TAPA FINAL GRIS BORNE DOBLE 1492-JD3FB	Q.3.09	Q.61.80
13	10	199-DR1 RIEL SIMETRICO 35mm X 7.5mm (UNIDAD 1 METRO)	Q.26.25	Q.262.50
14	2	800FP-F3 PULSADOR VERDE, PLASTICO, 22.5MM	Q.21.05	Q.42.10
15	2	800FP-E4 ELEMENTO FRONTAL PULSADOR SALIENTE ROJO	Q.27.98	Q.55.96
16	10	800F-ALP BASE 3 ELEMENTOS, PLASTICO, 800F	Q.12.31	Q.123.10
17	10	800F-X01 CONTACTO NC, BASE 3, 800F	Q.27.98	Q.279.80

SALVADOR T. +503 2260-8888 (PBX) F. +503 2260-8855 lekv@intek-ca.com	HONDURAS Tel. +504 2259-4748 / 50 FAX +504 2259-4740 intekhn@intek-ca.com	GUATEMALA Vía 5 y Ruta 3, 4-35, Zona 4, Esquina - 01004 Guatemala, C. A. Tel. +502 2361-5977 (PBX) - FAX +502 2334 4337.8 intekgt@intek-ca.com www.intek-ca.com	NICARAGUA Tel. +505 2254-5182 FAX +505 2254-5188 cmvaldivia@intek-ca.com	COSTA RICA Tel. +506 2443-2545 FAX + 506 2241-8717 intekcr@intek-ca.com
---	--	--	---	--

Figura 39 Cotización - Intek (página 2 de 2)



GT-12-11-696-2

Página 2 de 2

POS	CANT.	DESCRIPCION	PRECIO U.	TOTAL
18	10	800F-X10 CONTACTO NA, BASE 3, 800F	Q.27.98	Q.279.80
19	2	800FP-P3 LUZ PILOTO VERDE, PLASTICO, 22.5mm	Q.13.63	Q.27.26
20	2	800FP-P4 LUZ PILOTO ROJO, PLASTICO, 22.5mm	Q.13.63	Q.27.26
21	2	800FP-N3R BASE CON LED 24VDC COLOR ROJO	Q.93.12	Q.186.24
22	2	800FPN3G BASE CON LED 24VDC COLOR VERDE	Q.93.12	Q.186.24
23	4	800FP-SM32 SELECTOR MANIJA 3 POS. SOSTENIDO, PLASTICO, 22.5 MM	Q.30.66	Q.122.64
24	1	800FP-MP44 PARO DE EMERGENCIA	Q.95.00	Q.95.00
25	1	[1080.500] GABINETE COMPACTO AE 600x600x210mm, RAL 7035	Q.1,485.00	Q.1,485.00
26	8	[T1E-1522G] CANAL PLASTICO RANURADO 40x60mm (METRO)	Q.131.10	Q.1,048.80
TOTAL:				Q.13,599.97

PRECIO TOTAL PARA ESTA OFERTA: Q. 13,599.97

Los precios, se entienden netos del equipo puesto en bodega INTEK, 12.00% de I.V.A. incluido, pagaderos en su equivalente en Quetzalez según el tipo de cambio Bancario de referencia para la venta, del día en que sean realizados los pagos.

DÍAS DE CRÉDITO: 30 DÍAS DE CRÉDITO

PLAZO DE ENTREGA: 5 SEMANAS DESPUES DE RECIBIDA LA ORDEN DE COMPRA SALVO VENTA PREVIA EN FABRICA

VALIDEZ DE OFERTA: 10 DIAS

Los precios no incluyen la instalación ni la puesta en marcha de los equipos objeto de la presente cotización. De requerir estos servicios, los mismos deberan ser objeto de una nueva cotización y contratados por separado. Se incluye sin embargo, asistencia requerida para que estos trabajos puedan ser desarrollados por el cliente.

Los precios de la presente oferta están sujetos a variación por cambios en tasa Q/US\$, derechos de importación, impuestos, etc.

Sin otro particular por el momento, quedamos a la espera de su amable pedido. Atentamente,

I N T E K

Byron Ortiz

boortiz@intek-ca.com

Venta Interna

Elaborado Por: Edgar Raúl García Hernández

SALVADOR Tel. +503 2260-8888 (PBX) FAX +503 2260-8855 teksv@intek-ca.com	HONDURAS Tel. +504 2259-4748 / 50 FAX +504 2259-4740 intekhn@intek-ca.com	GUATEMALA Via 5 y Ruta 3, 4-35, Zona 4, Esquina - 01004 Guatemala, C. A. Tel. +502 2361-5977 (PBX) - FAX +502 2334-4337.8 intekgt@intek-ca.com www.intek-ca.com	NICARAGUA Tel. +505 2254-5182 FAX +505 2254-5188 cmvaldivia@intek-ca.com	COSTA RICA Tel. +506 2443-2545 FAX + 506 2241-8717 intekcr@intek-ca.com
---	--	--	---	--

Figura 40 Cotización - Intek 3



GT-12-11-2477-1

Página 1 de 2

Señores:

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Atn.: Ing. Christian Rossi

Guatemala, 20 de Junio del 2,012

Referencia Cliente: OFERTA DE CABLE BELDEN NUMERO 18AWG

Nuestra Referencia: GT-12-11-2477-1

Asunto: **O F E R T A**

Estimados señores:

Por este medio nos permitimos presentar a usted nuestra oferta, según nos fuera solicitado.

POS	CANT.	DESCRIPCION	PRECIO U.	TOTAL
1	100	[1036A] CABLE INSTRUMENTACION 1 TRIAD x 18AWG, 300V, 105 GRAD, OS (PIE)	Q.3.95	Q.395.00
TOTAL:				Q.395.00

PRECIO TOTAL PARA ESTA OFERTA: Q. 395.00

Los precios, se entienden netos del equipo puesto en bodega INTEK, 12.00% de I.V.A. incluido, pagaderos en su equivalente en Quetzales según el tipo de cambio Bancario de referencia para la venta, del día en que sean realizados los pagos.

DÍAS DE CRÉDITO: 30 DÍAS DE CRÉDITO
PLAZO DE ENTREGA: INMEDIATA SALVO VENTA PREVIA
VALIDEZ DE OFERTA: 10 DÍAS

Los precios no incluyen la instalación ni la puesta en marcha de los equipos objeto de la presente cotización. De requerir estos servicios, los mismos deberán ser objeto de una nueva cotización y contratados por separado. Se incluye sin embargo, asistencia requerida para que estos trabajos puedan ser desarrollados por el cliente.

Los precios de la presente oferta están sujetos a variación por cambios en tasa Q/US\$, derechos de importación, impuestos, etc.

Sin otro particular por el momento, quedamos a la espera de su amable pedido. Atentamente,

SALVADOR Tel. +503 2260-8888 (PBX) Tel. +503 2260-8855 teksv@intek-ca.com	HONDURAS Tel. +504 2259-4748 / 50 FAX +504 2259-4740 intekhn@intek-ca.com	GUATEMALA Via 5 y Ruta 3, 4-35, Zona 4, Esquina - 01004 Guatemala, C. A. Tel. +502 2361-5977 (PBX) - FAX +502 2334-4337/8 intekgt@intek-ca.com www.intek-ca.com	NICARAGUA Tel. +505 2254-5182 FAX +505 2254-5188 cmvaldivia@intek-ca.com	COSTA RICA Tel. +506 2443-2545 FAX + 506 2241-8717 intekcr@intek-ca.com
--	--	--	---	--

Figura 41 Cotización - Mainco, S.A.


MAINCO, S.A

08:09:28

15 AV. "A" 5-21 Zona 1 GUATEMALA GUATEMALA

Telefonos: 23868787

Fax: 23868713

www.mainco.com.gt

inoxidable@mainco.com.gt

PROFORMA No. COT01 58739

LOCAL

Guatemala, 31 de may de 2012

CLIENTE:	1751758-3	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA			
CONTACTO:					
DIRECCION:	11 CALLE 15-79 ZONA 15 VISTA HERMOSA III	NIT.: 1751758-3			
ENTREGA:					
TELS.	2364-0336 JORG	VENDEDOR:	18	ANNIE FLORES	
TIEMPO DE ENTREGA:	Días Habiles	CREDITO:	Días		
CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	Peso en Kg.	PRECIO	SUBTOTAL
12.00	TUBASTM312304C401.0 L PUEL1	TUBO ASTM A 312 SS304 CEDULA 40 1"	2.52	141.76 0 %	1,701.12
1.00	9006 L PUEL1	CODO ROSCADO 90° SS316L 1"	0.15	42.75 0 %	42.75
1.00	34006 L PUEL1	UNION UNIVERSAL ROSCADA SS316L 1"	0.30	114.55 0 %	114.55
1.00	280N06 P	MACHON DOBLE SS 316 NPT 1"	0.00	32.76 0 %	32.76
TOTAL PIEZAS:		15.00	TOTAL PESO:	2.97	

** UN MIL OCHOCIENTOS NOVENTA Y UNO CON 18/100 **

TOTAL	Q.1,891.18
--------------	-------------------

OBSERVACIONES: COTIZACION SUJETA A CAMBIOS PRODUCTO DE ALTA ROTACION NO ACEPTAMOS CAMBIOS NI DEVOLUCIONES

HECHO POR:

REVISADO POR:

AUTORIZADO POR:

Todo Pago con Tarjeta de Crédito o Débito tendrá un recargo adicional del 3.5% al total de su cotización.
 Para la prevision de cheques se aceptan unicamente cheques personales con documento de identificacion a la vista de la persona que gira y firma el cheque

" UN MUNDO EN ACERO INOXIDABLE "

Page 1 of 1

Figura 42 Cotización - Mangueras Industriales, S.A.

CANTIDAD		CODIG.	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	PRECIO UN.	TOTAL
2.00			PIE MANGUERAS DE HULE 1/8"	Q 9.00	Q 18.00
2.00			MTS MANGUERA DE HULE 1/8"	Q 28.00	Q 56.00
2.00			ABRAZADERAS DE MANGUERA 1"	Q 8.00	Q 16.00
2.00			ABRAZADERAS DE MANGUERAS 1.5"	Q 9.00	Q 18.00
0.50			MTS MANGUERA CORRUGADA 1"	Q 30.00	Q 15.00
2.00			MTS MANGUERA TRANSPARENTE PVC 1/4"	Q 14.00	Q 28.00
TOTAL EN LETRAS:			CIENTO CINCUENTA Y UNO CON 00/100		QUETZALES
OBSERVACIONES :				TOTAL	Q 151.00
O/F: ARCHIVO				sm	

NOMBRE :	UNIVERSIDAD DE VALLE DE GUATEMALA	PROFORMA:	
ATENCION A:	SRITA CLAUDIA RUIZ		9691
VENDEDOR:	MANNER DIAZ	LE INVITAMOS A VISITAR NUESTRO SITIO WEB www.corporacionmisa.com	
CREDITO:			
FECHA :	23/04/2012	PBX: 23821500	FAX: 24729023


		MANGUERAS INDUSTRIALES, S.A. 13 CALLE 15-20 ZONA 11 GUATEMALA, CIUDAD e-mail: misa@intelnet.net.gt PAGINA WEB: www.corporacionmisa.com
---	--	---

Figura 43 Cotización - Novex

**NOVEX SOCIEDAD ANONIMA
PROCERES**

Registro No.: 25917579

NIT No.: 25917579

13 Av. 17-33 Zona 10, Guatemala, Guatemala

Correo Electronico : ventas.proceres@novex.com.gt

TELEFONO: 2379-5200 FAX: 2379-5201

COTIZACION No. 44226

FECHA: 11/04/2012

PARA: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

DIRECCION: CIUDAD

TEL. : 41517868

ATENCION:

FAX : 11

DE: NERY MARCOS

ASUNTO: COTIZACION

TERMINOS: CONTADO

Pag.: 1

CODIGO	DESCRIPCION	U/M	CANTIDAD	PRECIOS	TOTAL
39971	PANEL, 1/20",(.050),9 X 12	UNI	1.00	21.000	21.00

VALIDEZ DE LA OFERTA 8 DIAS
NOTA PRECIOS YA INCLUYEN IVA

SUBTOTAL **21.00**

TOTAL (Q) **21.00**

NERY MARCOS
VENDEDOR

AUTORIZADO

ACEPTADO

Figura 44 Cotización - Reset 1




REPRESENTACION Y SERVICIOS TECNICOS ELECTRONICOS, S.A.

 6ª. Calle "A" 8-11 zona 7 Col. Quinta Samayoa - Apartado Postal 20-I
 Guatemala, Ciudad Guatemala, Centro América, Código Postal 01-007

Tels: (502) 24713781, 24734832, 24405522 Fax: (502) 24409841 E-mail: resetsa@itelgua.com

COTIZACION No. 275-2012-Q

EMPRESA	CONTACTO	FECHA	PAGINA	
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA	LUIS HURTADO/ HUGO CHINCHILLA	04-MAYO-2012	1	2

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
01	Transmisor de presión diferencial serie 616 marca Dwyer Instruments, con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> - Rango de presión diferencial 0 a 6" de agua - Rango de operación máxima: 5 PSI - Para medición de gases y aires - Salida de retransmisión de 4-20mA - Alimentación de 10-35VDC - Display LCD de tres dígitos - Protección IP66/NEMA4X 	02	Q. 3,289.00	Q. 6,578.00
02	Válvula solenoide marca ASCO, con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro de válvula: 1/8" NPT hembra - Alimentación 120 VAC, 60 HZ - Materia de la válvula: bronce - Presión máxima: 185 PSI - Temperatura máxima: 180°F - Flujo máximo: 4.7 GPM 	01	Q. 1,602.00	Q. 1,602.00
TOTAL				Q. 8,180.00

EN RESET SOMOS PERSONAS DE ACTITUD POSITIVA TRABAJANDO PARA USTED

Instrumentación – Control y Automatización – Asesoría Industrial – Servicios de Mantenimiento

Figura 45 Cotización - Reset 2



REPRESENTACION Y SERVICIOS TECNICOS ELECTRONICOS, S.A.

6ª. Calle "A" 8-11 zona 7 Col. Quinta Samayoa - Apartado Postal 20-I
Guatemala, Ciudad Guatemala, Centro América, Código Postal 01-007

Tels: (502) 24713781, 24734932, 24405522 Fax: (502) 24409941 E-mail: resetsa@itelgua.com

COTIZACION No. 277-2012-Q

EMPRESA	CONTACTO	FECHA	PAGINA	
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA	LUIS HURTADO / HUGO CHINCHILLA	04-MAYO-2012	1	1

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
------	-------------	-------	---------------	--------------

01	Sensor de temperatura de 3 hilos tipo RTD Marca Instrucon con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> - Bástago de 4" de largo total con cobertura de teflón - Precisión de 0.10% - Temperatura máxima 260° C - Diámetro de bástago de 0.250", material de 316SS - Conexión al proceso de 1/2" - Cabeza protectora de conexiones de aluminio 	06	Q. 1,555.00	Q. 9,330.00
			TOTAL	Q. 9,330.00

NOTA:

- 1.- La presente oferta ya incluye el valor del IVA
- 2.- La presente oferta no incluye la instalación, ni la puesta en marcha de los equipos, de requerirse estos servicios será objeto de una nueva Cotización.
- 3.- Todos los precios están expresados Quetzales
- 4.- La garantía cubre únicamente defectos de fabricación hasta el momento de ser entregados.

TOTAL EN LETRAS:	NUEVE MIL TRESCIENTOS TREINTA QUETZALES EXACTOS
TIEMPO DE ENTREGA:	3 A 4 SEMANAS DESPUÉS DE RECIBIR LA ORDEN DE COMPRA
FORMA DE PAGO:	CREDITO 30 DIAS
VALIDEZ DE LA OFERTA:	60 DÍAS
LUGAR DE ENTREGA:	BODEGA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Julio Edgar Castillo Pérez
jecastillo@resetsa.com
 Reset S.A.

EN RESET SOMOS PERSONAS DE ACTITUD POSITIVA TRABAJANDO PARA USTED
Instrumentación – Control y Automatización – Asesoría Industrial – Servicios de Mantenimiento

Figura 46 Cotización - Sipesa



R01-VEPR-01

**PRECIOS**

No.	Descripción	Precio Unitario	Sub-Total
2	Plataforma de pesaje Mettler Toledo PBA220-QB35. Capacidad de 35kg, resolución de 0.01kg, dimensiones de 12"x12".	\$425.00	\$850.00
2	Indicador Mettler Tolero IND110 para montaje en carril DIN, salida analógica 4-20mA	\$600.00	\$1,200.00
50	Pie de cable plataforma-indicador EL-146	\$3.00	\$150.00
		TOTAL	\$2,200.00

Precio incluye IVA.

TÉRMINOS COMERCIALES

- **Forma de pago:** Contado contra-entrega. Cheque y orden de compra a nombre de Sistemas de Pesaje, S.A.
- **Tiempo de Entrega:** 4 semanas aprox. luego de recibir orden de compra, por importación.
- **Garantía:** Seis meses por defectos de fábrica.
- **Protección del Precio:** Los precios y condiciones son válidos durante 30 días.

Ha sido un placer preparar este documento para su consideración.

Atentamente,

Fernando del Valle.
 Asesor de Negocios.
 Cel.: 4347-7293
 Tel. Of.: 2474-9300 ext. 2428
 Fax: 2473-3317
ndelvalle@disagro.com

Figura 47 Cotización - Talleres Hernández



	13 Avenida 4-27, Zona 1 • Tel./Fax 502 • 2220-2635 Tels. 502 • 2251-5512 • 2230-3403 • 2230-3387 talleres.hernandez@yahoo.com talleres.hernandez.gt@gmail.com		COTIZACION 1247	
	Fabricación, reparación y mantenimiento de maquinaria industrial. Toda clase de trabajos para la industria farmacéutica y alimenticia. Especialidad en trabajos de acero inoxidable.		FECHA 08/05/2012	
CLIENTE				
Nombre del Cliente	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA			
Atención a	Ing. Gamaliel Zambrano	NIT.		
Dirección	zambrano@uvg.edu.gt	Tel.	23640336	Tel. Fax 23640336
Forma de pago	60% DE ANTICIPO Y 40% CONTRAENTREGA	Vigencia de esta cotización	15 días	
CONCEPTO				
<p>■ Por fabricación de sistema de tubos con flanch todo galvanizado, con un disco de acero inoxidable de ¼" de grueso, en cada tubo de 12" llevará una copla soldada de ¼" NTP y una copla de 1" NTP.</p> <p style="text-align: right;">Precio.....Q650.00</p>				
<p>Esperando que la presente satisfaga su necesidad de inversión y en espera de una respuesta favorable, quedo de usted.</p> <p>Atentamente,</p>				
OBSERVACIONES LOS PRECIOS YA INCLUYEN I.V.A DE SER APROBADA LA PRESENTE COTIZACION, FAVOR REMITIRLA FIRMADA, SELLADA CON FECHA DE APROBACION Y ORDEN DE COMPRA.			FECHA DE APROBADO	
COTIZACION AUTORIZADA POR Daniel Hernández R.		COTIZACION AUTORIZADA POR EL CLIENTE		
Nombre _____  FIRMA DE AUTORIZADO		Nombre _____ ACEPTADO - CLIENTE		
<small>ORIGINAL (B) Cliente • DUPLICADO (A) Contabilidad • TRIPLICADO (V) Archivo Imp. ASESPESSA • 2251-6480 • Ref. 16.02.0110 - ja •</small>				

Tabla 26 Costo de elaboración de planos

#	Costo de elaboración de planos	
1	Costo hora de dibujante calificado	Q 37.50
2	Costo de impresión:	Q 20.00
3	Costos administrativos:	15%
4	Utilidad:	20%
5	Impuestos:	17%

Tabla 27 Cotización de planos

#	Elaboración de planos presentados en propuesta		
1	Dibujante	3	Días
	costo/día	Q 300.00	
	total honorarios	<u>Q 900.00</u>	
2	Impresión A-1/copia		
	Cantidad	5	Unidades
	costo/unidad	Q 30.00	
	Total	<u>Q 150.00</u>	
3	Costos administrativos	Q 345.00	
	planificación	Q 1,050.00	
	firma y timbres	Q 1,250.00	
	Utilidad	Q 460.00	
	sub total	<u>Q 3,105.00</u>	
	Tax	Q 527.85	
	Total	<u>Q 3,632.85</u>	
	costo por hoja	Q 726.57	

Figura 48 Cotización - Empresa externa (página 1 de 2)



05:34 27/08/2012



INSTELECOM, S.A. 42 avenida 7-84 zona 5, Guatemala, C.A. Tels. 502-23361079 al 81

COMPANY:	Universidad del Valle de Guatemala	PROPOSAL #:	2708-12
ATTN:		PAGES:	
FAX:		DATE:	27/08/2012
FROM:	Claudia Ruiz		
PROJECT:	FABRICACIÓN PROYECTO AUTOMATIZACION DE TORRE DE PARED MOJADA		

Estimados Señores

A continuación les presentamos la oferta por la Fabricación de un Sistema denominado AUTOMATIZACION DE TORRE DE PARED MOJADA, de acuerdo a las especificaciones presentadas por Ustedes.

COTIZACIÓN DE:
AUTOMATIZACION DE TORRE DE PARED MOJADA

MATERIALES	Unitario USD	Valor USD
1.00 TUBO DE VIDRIO KG-33 Standard Wall Glass Tubing in lengths of 80" ±¼" and cut ends. O.D: 30mm. ± O.D.Tolerance: 0.70. Wall Thickness: 1.8mm. ± Wall Tolerance: 0.20	450.00	450.00
1.00 TUBO DE ACERO INOXIDABLE de 1" de diámetro interno para Conectar Ventilador 2mt	456.00	456.00
1.00 TUBO DE ACERO INOXIDABLE de 1" de diámetro interno para distribuidor de liquido 2mt	456.00	456.00
1.00 CILINDRO VIDRIO Estándar Wall Glass 20cm x 30cm diámetro	280.00	280.00
1.00 MANGERA GENERAL PURPOSE de 1/8" (12 pies)	250.00	250.00
1.00 MOTOR ELECTRICO 1 HP 120/240Vac 1850 RPM	550.00	550.00
4.00 TUBO CUADRADO Acero al Carbón de 2X2	523.00	2,092.00
1.00 Modular Base Unit (19-30VDC), 12 In (24VDC), 8 Out Trans source, Rem Conector, 1 RS-485 integrated, 1 analogue adjustment, (expandable up to 4 I/O modules)	322.00	322.00
1.00 3m cable (26 pin connector) for modular base unit TWDLMDA20DTK/ /TWDLMDA40DTK, AWG22 free wire	36.00	36.00
1.00 Cable de Programación, Conexión USB con la PC y terminación en RS485 (RJ45)	146.49	146.49
1.00 Cable RJ45 a Mini Dim (para utilizar con el TSXCUSB485). Long: 2.5 m	179.00	179.00



Figura 49 Cotización - Empresa externa (página 2 de 2)



05:34 27/08/2012



INSTELECOM, S.A. 42 avenida 7-84 zona 5, Guatemala, C.A. Tels. 502-23361079 al 81

1.00	Software de Programación para PLCs Twido Schneider Electric		-
1.00	Switch Ethernet, Riel Din, 5 x 10BASE-T/100BASE-TX ports (copper cable), RJ45 shielded connectors	228.00	228.00
1.00	Fuente de poder Phaseo 100..240 VAC, 24 VDC - 5A	322.00	322.00
1.00	Variador de Velocidad Monofásico 200-240 VAC, 1.1 kW / 1.5Hp, MODBUS (RS-485)	375.00	375.00
1.00	Expansion, analog 4 In (12 bits), Voltaje: 0-10V / Corriente: 0-20mA / RTD: PT100/PT1000/NI100/NI1000, Rem Screw Term blk	369.00	369.00
1.00	Ethernet Gateway para comunicación Modbus TCP/IP sobre Ethernet. Soporta hasta 32 equipos de control aguas abajo en RS-485.	418.37	418.37
1.00	Materiales para las instalaciones eléctricas	750.00	750.00
1.00	Materiales para la automatización y control	650.00	650.00
1.00	Instrumentación de medición de Peso	850.00	850.00
1.00	Sensores de instrumentación	650.00	650.00
1.00	Fabricación arnes metálico de torre	1,000.00	1,000.00
1.00	Valor implementación y mano obra	1,500.00	1,500.00
	TOTAL		12,329.86

CONDICIONES DE LA OFERTA

Forma de pago: 70% contra pedido, 30% contra entrega

Precios en USD + IVA

Tiempo de entrega: 35 días

Garantía: 1 año sobre mano de obra y partes mecanicas

Atentamente

JOSE QUEME

Figura 50 Cotización – Compra directa

Guatemala, Noviembre 2 de 2012

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Estimados Señores:

Deseándole éxitos en sus actividades, presentamos la siguiente cotización, del equipo solicitado por su persona.

Agradeciendo el permitirnos apoyarle en el desarrollo de sus investigaciones, quedamos al tanto de sus comentarios,

Atentamente,

Ing. José Gómez
GERENTE GENERAL

www.armfield.com.uk



Adjunto: Cotización, Términos y Condiciones de la Oferta

Figura 51 Compra directa (precio del equipo puesto en instalaciones)



COTIZACIÓN COMERCIAL No.1

No.	Codigo	Descripción	Cantidad	Precio FOB UK (USD)	Volumen Paquete (m³)	Peso (kg)	Tiempo de Entrega (semanas)
1	CES	Columna de Absorción de gas de pared humedad	1	36,870.60	2.10	252.00	16.00
			TOTAL	36,870.60			
TRANSPORTE AEREO (USD)				1,150.00			
TOTAL CIF (USD)				38,020.60			
GASTOS ADUANALES (USD)				260.00			
TOTAL EN LA ADUANA (USD)				38,280.60			
12 % IVA ADUANAL (USD)				4,593.67			
ARANCEL				0.00			
TOTAL SIN IVA DE FACTURA				42,874.27			
12 % IVA FACTURA				5,144.91			
TOTAL FACTURADO ENTREGADO EN SUS INSTALACIONES (USD)				48,019.18			

Oferta válida hasta el 31 de Diciembre 2012.

La oferta incluye transporte, seguro de transporte e impuestos.

FORMA DE PAGO: 100% del valor de la oferta en dólares americanos, realizándose de la siguiente manera:

1. El pago del costo del equipo CIF UK (USD.38,020.00), se hará a través de una transferencia bancaria a una cuenta de Armfield, se adjunta los datos de la cuenta.
2. El Pago de gastos aduanales + IVA ADUANAL, se le entregará en cheque en dólares americanos a José Marco Tulio Gómez Vásquez representante de Labequipmentgt, para que realice los pagos mencionados al principio de este numeral este pago incluye la puesta del equipo en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.
3. El iva de facturación es de USD.5,144.91, del monto total de facturación. Para esto la Universidad del Valle de Guatemala extenderá una constancia de exención de IVA a Labequipmentgt.

GARANTIA DE LOS EQUIPOS: 2 AÑOS.

Figura 52 Cotización - Compra directa (precio CIF Guatemala)

COTIZACIÓN COMERCIAL No.2

No.	Codigo	Descripción	Cantidad	Precio FOB UK (USD)	Volumen Paquete (m³)	Peso (kg)	Tiempo de Entrega (semanas)
1	CES	Columna de Absorción de gas de pared humedad	1	36,870.60	2.10	252.00	16.00
			TOTAL	36,870.60			
				TRANSPORTE AEREO (USD)	1,150.00		
				TOTAL CIF (USD)	38,020.60		

Oferta válida hasta el 31 de Diciembre 2012.

FORMA DE PAGO: 100% del valor de la oferta en dólares americanos, realizándose de la siguiente manera:

1. El pago del costo del equipo CIF UK (USD.38,020.00), se hará a través de una transferencia bancaria a una cuenta de Armfield, se adjunta los datos de la cuenta.
2. Los trámites aduanales y transporte a instalaciones corren por cuenta del cliente.

GARANTIA DE LOS EQUIPOS: 2 AÑOS.

Figura 53 Compra directa - especificaciones técnicas (página 1 de 4)

Armfield - innovadores en equipos educativos de ingeniería

Página 1 de 4

 PRINCIPIOS DE PROCESO BÁSICOS	<p>Todos los productos Armfield se suministran con una Garantía Extendida de dos años</p> 
CES Columna de absorción de gas de pared mojada - Versión 5	HOJA DE DATOS
<p>Las columnas de pared mojada pueden utilizarse para determinar coeficientes de transferencia de masa gas/líquido, esencial a la hora de calcular el diseño de las torres de absorción. Dichos coeficientes forman la base de las correlaciones usadas para desarrollar torres de relleno. El CES examina la absorción en agua desoxigenada (preparada por aspersión de nitrógeno) de oxígeno del aire. Éste es un ejemplo de absorción controlada por película líquida. Puede determinarse el coeficiente de transferencia de masa de película líquida para diversos caudales máxicos de agua.</p>  <p style="text-align: center;">aumentar</p>	CATEGORÍA DEL PRODUCTO: Enseñanza de Ingeniería
<p>Especificación para pedidos Posibilidades de demostración Descripción Especificación técnica Experimentos típicos Equipos auxiliares Requisitos Especificación de transporte y dimensiones</p>	<p style="text-align: right;">CONSULTAR</p> <p>Descargar</p> <p><input type="button" value="ESPECIFICACIÓN PARA PEDIDOS (formato Word)"/></p> <p><input type="button" value="Imprimir esta hoja de datos"/></p>
ESPECIFICACIÓN PARA PEDIDOS	Serie Principios Básicos De Procesos
<p>Parato de instalación sobre suelo, utilizado para demostración y determinación de los coeficientes de transferencia de masa de película líquida. Integra una columna de pared mojada y una columna de desoxigenación, un tanque de agua, dos bombas de agua, una bomba de aire y un medidor de oxígeno con dos sondas. La sección de pared mojada tiene una longitud de 900 mm., un diámetro interno de 32 mm. y está fabricada en vidrio. La columna de desoxigenación tiene una longitud de 1.570mm., un diámetro interno de 26mm y está fabricada con material acrílico transparente. El equipo se emplea para el estudio de la absorción de oxígeno del aire en agua desoxigenada; las demostraciones específicas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cálculo del coeficiente de transferencia de masa de película líquida. - Variación del coeficiente con el caudal máxico. - Determinación de la relación de ley de potencia... 	<p><input type="button" value="CEK Estudios de mezcla de fluidos"/></p> <p><input type="button" value="CEL Equipo de Lechos fijos y fluidizados"/></p> <p><input type="button" value="CEN Mkm Estudio de tratamiento de sólidos"/></p> <p><input type="button" value="CEQ Kit para estudios de corrosión"/></p> <p><input type="button" value="CERa/CERb Coeficientes de transferencia de masa y difusión"/></p> <p><input type="button" value="CES Columna de absorción de gas de pared húmeda"/></p> <p><input type="button" value="CEU Reactores catalíticos"/></p> <p><input type="button" value="CEX Equipos de enseñanza de reactores químicos"/></p> <p><input type="button" value="CEY Reactor Flujo Pistón"/></p> <p><input type="button" value="CEZ Reactor Flujo Laminar"/></p> <p><input type="button" value="CEXC Computer controlled Chemical Reactor Teaching Equipment"/></p>
<p>RRIBC</p>	
POSIBILIDADES DE DEMOSTRACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> > Cálculo de coeficientes de transferencia de masa de película líquida > Variación de coeficiente con el caudal máxico > Variación del caudal de oxígeno para determinar la relación de ley de potencia 	
<p>RRIBC</p>	
EXPERIMENTOS TÍPICOS	
<p>El sistema elegido para el experimento es la absorción de oxígeno en agua libre de oxígeno. En este sistema, la solubilidad y la entalpía de solución son pequeñas, y al saturar el aire de entrada con agua, se eliminan los efectos de humidificación. De esta forma, es posible mantener condiciones razonablemente isotérmicas en toda la columna.</p> <p>El procedimiento experimental permite calcular una relación de ley de potencia y la comparación de ésta con las relaciones publicadas, tales como:</p>	
$(Sh) = f(Sc)^{1/2}(Ga)^{1/6}(Re)^n$ <p>That is, for a given gas/liquid system:</p> $(Sh) \propto$	
<p>para diversos caudales de oxígeno (en forma de aire) es posible determinar una</p>	

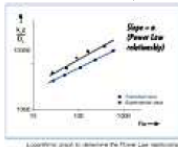
Figura 54 Compra directa - especificaciones técnicas (página 2 de 4)

Armfield - innovadores en equipos educativos de ingeniería

Página 2 de 4

ley de potencia y compararla con los valores publicados.

Logarithmic graph to determine the Power Law relationship



aumentar

Para trazar el gráfico, los estudiantes deben calcular coeficientes de diferencia de concentración media logarítmica, de flujo másico y de transferencia de masa. También puede realizarse un análisis de errores completo.

□RRIBC

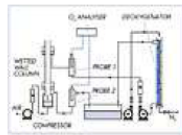
DESCRIPCIÓN

Control panel detail



aumentar

Schematic diagram of the unit



aumentar

Los componentes del sistema están montados en un bastidor de suelo de acero pintado.

La columna de pared mojada es una columna de vidrio con secciones de entrada y salida de agua, y está montada sobre cardanes con el fin de asegurar su verticalidad.

La columna de desoxigenación tiene un tamaño global similar al de la columna de pared mojada, y está situada en posición vertical junto a aquélla. □ lado de las columnas hay una consola de control con caudalímetros, controles de bomba y analizador de oxígeno. Entre las columnas hay dos alojamientos especiales, que contienen las sondas de análisis de oxígeno que monitorizan el contenido de oxígeno en el agua que entra y sale de la columna de absorción. El aparato utiliza como medio de trabajo agua, contenida en un tanque de almacenamiento en la parte de atrás de la unidad. Las bombas que suministran agua al desoxigenador y la columna de absorción están situadas en la base de la unidad.

Durante la operación, el agua es aspersada con nitrógeno en el desoxigenador antes de entrar por la parte superior de la columna de pared mojada. Una bomba de aire integral tipo diafragma bombea aire en la base de la columna. El aire asciende por la columna, entregando el oxígeno al agua.

El oxígeno disuelto en la entrada y la salida puede medirse en rápida sucesión. El agua se drena al tanque de almacenamiento para su reciclaje al desoxigenador.

□RRIBC

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

Columna de pared mojada

altura: 900mm
diámetro interno: 32mm
material: Vidrio

Columna de desoxigenación

altura: 1.570mm
diámetro interno: 26mm
material: material acrílico transparente

Figura 55 Compra directa - especificaciones técnicas (página 3 de 4)

Armfield - innovadores en equipos educativos de ingeniería

Página 3 de 4

Medidor del caudal de aire
intervalo: 600 a 5000 ml/min
Medidor del caudal de agua
intervalo: 20 a 280 ml/min
Bomba de alimentación del desoxigenador:
20 l/min con carga de 2m
Bomba de alimentación de la columna de absorción:
10 l/min con carga de 1m
Bomba de alimentación de aire:
24 l/min a 1kg/cm ²
Capacidad del depósito:
40 litros aproximadamente
MEDIDOR DE OXÍGENO
saturación:
intervalo: 0 a 199,9%
precisión: ± 0,5%
resolución: 0,1%
compensación de temperatura: 0 a 50°C, automática
concentración:
intervalo: 0 a 19,9ppm
precisión: ± 0,2ppm
resolución: 0,1ppm
compensación de temperatura: 0 a 50°C, automática
temperatura:
intervalo: -100°C a +200°C
precisión: ±0,3°C
resolución: 0,1
RRIBC
EQUIPOS AUXILIARES
Cilindro de nitrógeno gaseoso comprimido con regulador de presión (no suministrado).
RRIBC
REQUISITOS
Suministro eléctrico:
CES-A: 220/240V, monofásico, 50Hz
CES-B: 120V, monofásico, 60Hz
RRIBC
ESPECIFICACIÓN DE TRANSPORTE
Volumen: 2.1m ³
Peso bruto: 252kg
RRIBC
DIMENSIONES TOTALES

Figura No. 1. Compra directa - especificaciones técnicas (página 4 de 4)

Armfield - innovadores en equipos educativos de ingeniería

Página 4 de 4

□tura: 2.5m
□hchura: 1.0m
Profundidad: 0.5m

□RRIBC

Especificaciones sujetas a modificaciones
© Armfield 2000/2006 E&OE