

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Quinta Fase Automatización del Laboratorio de Operaciones
Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Claudia Renée Ruiz Herrera para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Industrial y Luis
Carlos Hurtado Corrales para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Química

Guatemala
2012

**Quinta Fase Automatización del Laboratorio de Operaciones
Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Quinta Fase Automatización del Laboratorio de Operaciones
Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Claudia Renée Ruiz Herrera para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Industrial y Luis
Carlos Hurtado Corrales para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Química

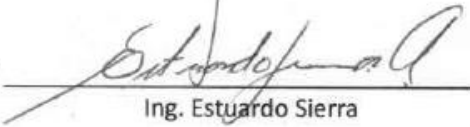
Guatemala
2012

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Jorge Luis Muñoz

Tribunal:

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano Ruano

(f) 
Ing. Estuardo Sierra

(f) 
Ing. Carlos Esquit

Fecha de Aprobación: Guatemala, 28 de noviembre de 2012

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE GRÁFICAS.....	xii
LISTA DE PLANOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
I. Introducción	1
II. Marco teórico	3
A. Módulo de gestión y planeación.....	3
1. Gestión de un proyecto.....	3
B. Módulo de restauración y automatización	9
1. Principios de transferencia de masa.	9
2. Torre de pared mojada.....	17
3. Mezclas de vapor/gas.....	26
4. Propiedades de los líquidos.....	27
5. Control y automatización	28
III. Antecedentes.....	30
IV. Justificación	31
V. Objetivos	32
VI. Metodología	33
A. Módulo de planeación y gestión.....	33
B. Módulo de restauración y automatización	34
VII. Resultados	48
A. Módulo de planeación y gestión.....	48
B. Módulo de restauración y automatización	51
VIII. Análisis de resultados.....	61
A. Módulo de planeación Y gestión.....	61
1. Planeación	61
2. Proceso de compra.....	67
3. Alternativas financieras.....	69
4. Seguimiento	69
B. Módulo de restauración y automatización	70
1. Restauración de la torre de pared mojada.....	70

2.	Selección de sensores y controladores para la operación del equipo	73
3.	Diseño de la interfaz gráfica para el programa de operación del equipo	74
4.	Elaboración de un manual de operación del equipo.....	75
5.	Determinación de los coeficientes de transferencia de masa	75
IX.	Conclusiones	79
X.	Recomendaciones	81
XI.	Bibliografía	82
XII.	Anexos.....	84
1.	Apéndice A: Cronogramas.....	84
2.	Apéndice B: listas de materiales y equipo.....	86
3.	Apéndice C: cotizaciones.....	99
4.	Apéndice D: Propiedades físicas de los líquidos utilizados	124
5.	Apéndice E: Datos originales	127
6.	Apéndice F: Cálculo de muestra	132
7.	Apéndice G: Datos calculados	139
8.	Apéndice H: Planos.....	153
9.	Apéndice I: Manual de usuario	156
10.	Apéndice J: Pantallas HMI programa de operación	183
11.	Apéndice K: Glosario	186

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1 Partes que conforman un estudio técnico	5
Figura No. 2 Función de choque para la difusión.....	12
Figura No. 3 Concepto de la doble resistencia	16
Figura No. 4 Alejamiento de las concentraciones de las fases totales del equilibrio.....	17
Figura No. 5 Esquema torre pared mojada	18
Figura No. 6 Torre de pared mojada	20
Figura No. 7 Estructura torre pared mojada en 3D.....	22
Figura No. 8 Estructura torre pared mojada	23
Figura No. 9 Diseño distribuidores de líquido	24
Figura No. 10 Diseño del ventilador	25
Figura No. 11 Estructura de la torre de pared mojada con malla metálica	35
Figura No. 12 Baranda colocada en escalera para subir a la estructura de la torre de pared mojada	36
Figura No. 13 Soporte para la sección de calma superior	36
Figura No. 14 Zapatas para anclar estructura al suelo.....	37
Figura No. 15 Aplicación de anticorrosivo a la estructura	37
Figura No. 16 Distribuidor de líquido	38
Figura No. 17 Distribuidor sección inferior torre.....	38
Figura No. 18 Distribuidor de líquido en la parte superior.....	39
Figura No. 19 Sensores RTD sección calma inferior	40
Figura No. 20 RTD en recipiente contenedor de líquidos	41
Figura No. 21 Sensor presión diferencial en sección mojada.....	41
Figura No. 22 Conexión al proceso para caída de presión en sección mojada	42
Figura No. 23 Conexión a proceso placa de orificio	42
Figura No. 24 Sistema de líquido en la parte superior de la torre	43
Figura No. 25 Sistema de motor y ventilador.....	43
Figura No. 26 Válvula para ventilador y placa de orificio	44
Figura No. 27 Pantalla de inicio en programa de operación para la torre de pared mojada	46
Figura No. 28 Pantalla de modo manual del programa de operación de la torre	55
Figura No. 29 Pantalla de modo automático del programa de operación de la torre.....	55
Figura No. 30 Soldadura de estructura	63
Figura No. 31 Estructura parcialmente terminada	63
Figura No. 32 Fase de pintura	64
Figura No. 33 Estructura pintada.....	64
Figura No. 34 Implementación de baranda a escaleras de la estructura	65
Figura No. 35 Soldadura de zapatas para anclaje al suelo.....	65
Figura No. 36 Cronograma general preliminar	84
Figura No. 37 Cronograma general detallado	85
Figura No. 38 Cotización - Anclo	99
Figura No. 39 Cotización - Celasa	101
Figura No. 40 Cotización - Dilab	102
Figura No. 41 Cotización - Intek 1	103
Figura No. 42 Cotización - Intek 2 (página 1 de 2).....	104
Figura No. 43 Cotización - Intek (página 2 de 2).....	105
Figura No. 44 Cotización - Intek 3	106
Figura No. 45 Cotización - Mainco, S.A.....	107
Figura No. 46 Cotización - Mangueras Industriales, S.A.....	108

Figura No. 47 Cotización - Novex	109
Figura No. 48 Cotización - Reset 1	110
Figura No. 49 Cotización - Reset 2	111
Figura No. 50 Cotización - Sipesa.....	112
Figura No. 51 Cotización - Talleres Hernandez	113
Figura No. 52 Cotización - Empresa externa (página 1 de 2).....	115
Figura No. 53 Cotización - Empresa externa (página 2 de 2).....	116
Figura No. 54 Cotización – Compra directa.....	117
Figura No. 55 Cotización – Compra directa (precio del equipo puesto en instalaciones).....	118
Figura No. 56 Cotización - Compra directa (precio CIF Guatemala).....	119
Figura No. 57 Compra directa - especificaciones técnicas (página 1 de 4).....	120
Figura No. 58 Compra directa - especificaciones técnicas (página 2 de 4).....	121
Figura No. 59 Compra directa - especificaciones técnicas (página 3 de 4).....	122
Figura No. 60 Compra directa - especificaciones técnicas (página 4 de 4).....	123
Figura No. 61 Diagrama de equipo	158
Figura No. 62 Válvulas	161
Figura No. 63 Recipiente de líquido.....	161
Figura No. 64 Tapón bulbo húmedo superior.....	162
Figura No. 65 Tapón bulbo húmedo inferior.....	162
Figura No. 66 Bulbo húmedo RTD superior	162
Figura No. 67 Pantalla inicial programa de operación	163
Figura No. 68 Lista de chequeo programa de operación	163
Figura No. 69 Pantalla de operación manual.....	164
Figura No. 70 Encendido del ventilador.....	165
Figura No. 71 Válvula de paso del ventilador	165
Figura No. 72 Bulbo húmedo	165
Figura No. 73 Pantalla operación automática.....	166
Figura No. 74 Pantalla de operación automática	167
Figura No. 75 Pantalla inicial.....	183
Figura No. 76 Pantalla instrucciones.....	183
Figura No. 77 Pantalla chequeo.....	184
Figura No. 78 Pantalla modo manual	184
Figura No. 79 Pantalla modo automático	185
Figura No. 80 Pantalla masa vs. tiempo	185

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1 Datos de las tomas de presión en el medidor de orificio	26
Tabla No. 2 Relación psicrométrica para varios líquidos	27
Tabla No. 3 Funciones de las ingenierías en el Megaproyecto	33
Tabla No. 4 Instrumentos utilizados en la torre de pared mojada	40
Tabla No. 5 Rangos de operación para cada variable a medir en torre de pared mojada	45
Tabla No. 6 Sensores seleccionados para cada una de las variables a medir en la torre de pared mojada	45
Tabla No. 7 Elementos finales de control seleccionados para variables en la torre de pared mojada	46
Tabla No. 8 Inversión detallada en el Megaproyecto por la Universidad del Valle de Guatemala	48
Tabla No. 9 Comparación de costos según alternativas para la realización del Megaproyecto	51
Tabla No. 10 Resultados obtenidos para las dimensiones de la torre de pared mojada.....	51
Tabla No. 11 Resultados obtenidos para las dimensiones de la estructura de la torre de pared mojada	51
Tabla No. 12 Resultados de costos para la restauración de la torre de pared mojada	52
Tabla No. 13 Resultados obtenidos en la selección de sensores para la operación de la torre de pared mojada.....	53
Tabla No. 14 Resultados obtenidos en la selección de elementos finales de control en la operación de la torre de pared mojada.....	53
Tabla No. 15 Resultados obtenidos en las señales requeridas para cada uno de los sensores y elementos de control seleccionados.....	54
Tabla No. 16 Resultados obtenidos en la selección del controlador lógico programable (PLC) a utilizar.....	54
Tabla No. 17 Resultados obtenidos en la selección de módulos de expansión requeridos para complementar el controlador lógico programable	54
Tabla No. 18 Comparación de coeficiente de transferencia de masa obtenido con diferencia de pesos y diferencia de humedades	56
Tabla No. 19 Ecuaciones experimentales que correlacionan los valores obtenidos en la desorción de líquidos puros al aire	57
Tabla No. 20 Coeficiente de correlación lineal para los datos obtenidos en las corridas con diferentes líquidos.....	60
Tabla No. 21 Base de datos - proveedores	70
Tabla No. 22 Lista de materiales y equipo con especificaciones	86
Tabla No. 23 Lista de materiales y equipo - Precio total.....	89
Tabla No. 24 Lista de materiales y equipo - Estado de cotización	92
Tabla No. 25 Lista de materiales y equipo - orden de compra/estado de entrega	95
Tabla No. 26 Gastos extra	98
Tabla No. 27 Costo de elaboración de planos	114
Tabla No. 28 Cotización de planos.....	114
Tabla No. 29 Constantes para obtener la presión de vapor	124
Tabla No. 30 Constantes para obtener la entalpía de vaporización	124
Tabla No. 31 Temperatura crítica para diferentes líquidos	124
Tabla No. 32 Densidad del aire a diferentes temperaturas	125
Tabla No. 33 Viscosidad del aire a diferentes temperaturas.....	125
Tabla No. 34 Difusividad para diferentes líquidos en el aire a 25 °C.....	125
Tabla No. 35 Constantes para obtener densidad de los líquidos a utilizar	126
Tabla No. 36 Pesos moleculares para líquidos a utilizar	126
Tabla No. 37 Datos teóricos para fricción en la torre	127
Tabla No. 38 Masas iniciales y finales para cada corrida con diferentes líquidos	127
Tabla No. 39 Datos de transferencia de masa para agua como líquido a utilizar	128

Tabla No. 40 Datos de transferencia de masa para etanol como líquido a utilizar	129
Tabla No. 41 Datos de transferencia de masa para 2-propanol como líquido a utilizar	130
Tabla No. 42 Datos de transferencia de masa para metanol como líquido a utilizar	131
Tabla No. 43 Datos calculados para fricción en la torre de pared mojada	139
Tabla No. 44 Datos calculados transferencia de masa para agua	140
Tabla No. 45 Datos calculados coeficientes transferencia de masa para agua	141
Tabla No. 46 Datos calculados para números adimensionales del agua.....	142
Tabla No. 47 Datos calculados transferencia de masa metanol.....	143
Tabla No. 48 Datos calculados coeficiente de transferencia de masa para metanol.....	144
Tabla No. 49 Datos calculados números adimensionales para metanol	145
Tabla No. 50 Datos calculados transferencia de masa etanol	146
Tabla No. 51 Datos calculados coeficiente de transferencia de masa para etanol	147
Tabla No. 52 Datos calculados números adimensionales para etanol	148
Tabla No. 53 Datos calculados transferencia de masa 2-propanol	149
Tabla No. 54 Datos calculados coeficiente de transferencia de masa para 2-propanol	150
Tabla No. 55: Datos calculados números adimensionales para 2-propanol	151
Tabla No. 56 Coeficiente de transferencia de masa a partir de diferencia de masa de balanzas	152

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1 Coeficientes locales de transferencia de masa para líquidos hacia el aire	56
Gráfica No. 2 Comparación entre ecuación experimental y teórica para agua	57
Gráfica No. 3 Correlación entre datos experimentales para corridas con agua	57
Gráfica No. 4 Comparación entre ecuación experimental y teórica para metanol.....	58
Gráfica No. 5 Correlación entre datos experimentales para corridas con metanol	58
Gráfica No. 6 Comparación entre ecuación experimental y teórica para etanol.....	59
Gráfica No. 7 Correlación entre datos experimentales para corridas con etanol	59
Gráfica No. 8 Correlación entre ecuación experimental y teórica para 2-propanol.....	60
Gráfica No. 9 Correlación entre datos experimentales para corridas con 2-propanol	60
Gráfica No. 10 Regresión lineal para obtener ecuación experimental para fricción de superficie	134

LISTA DE PLANOS

Plano No. 1 Vistas estructura.....	153
Plano No. 2 Vista 3D de la estructura	154
Plano No. 3 Diagrama P&ID.....	155

RESUMEN

El Megaproyecto consistió en la restauración y automatización de la torre de pared mojada en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Anteriormente, se contaba con una torre de pared mojada pero no estaba en funcionamiento debido a que hacían falta varias partes, otras se encontraban deterioradas y también le faltaban algunos instrumentos de medición necesarios para su funcionamiento.

Se dividió el proyecto en módulos y cada módulo tenía sus actividades y tareas para la ejecución del proyecto, además de tener sub módulos asignados a cada estudiante del equipo. El estudiante de Ingeniería Química aportó la restauración y automatización, mientras que la estudiante de Ingeniería Industrial elaboró la planeación y gestión del proyecto. La programación del PLC y pantallas HMI, fue realizada por un estudiante de Ingeniería Electrónica.

En el módulo de planeación y gestión, se gestionó el proyecto por medio de una calendarización y planeación, que fue dando seguimiento a todas las tareas necesarias para cumplir con los objetivos establecidos en el inicio del Megaproyecto, en el tiempo estimado y con los recursos económicos brindados por la Universidad del Valle de Guatemala. El fin de este módulo fue demostrar el ahorro monetario, para la Universidad del Valle de Guatemala, al llevar a cabo el proyecto con estudiantes que poseen los conocimientos y capacidades necesarias, en lugar de contratar a una empresa externa para llevarlo a cabo. El modulo se basó en varias etapas, entre ellas: calendarización y planeación, distribución de tareas, cotizaciones y seguimiento.

En el módulo de restauración y automatización, se muestra cómo el equipo puede ser operado en forma manual como en forma automática desde un programa de operación, el cual fue diseñado con pantallas gráficas (HMI) que permiten al usuario monitorear las variables durante las corridas experimentales, las cuales permitieron obtener los datos necesarios para el cálculo de los coeficientes de transferencia de masa de diferentes líquidos hacia el aire. Se recomienda instalar un sistema de bombeo para llenar el recipiente superior con el líquido a utilizar, facilitando la operación de la torre de pared mojada y realizar mediciones de transferencia de calor, aumentando la temperatura del líquido a utilizar y poder así comparar las analogías que existen entre la transferencia de masa y de calor.

I. INTRODUCCIÓN

La automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias dio inicio en el año 2007, con la primera fase automatizando la torre de absorción, en el año 2008, inició la segunda fase con la automatización de la torre de destilación, en el año 2009, inició la tercera fase con la automatización de la torre de enfriamiento, torre de extracción y planta de biodiesel, en el año 2011, inició la cuarta fase con la automatización del cuarto de sólidos y caldera. Continuando con los proyectos de automatización se realiza la quinta fase de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con la torre de pared mojada.

Este Megaproyecto se planteó en el 2011 y trató sobre la restauración y automatización de la torre de pared mojada, que anteriormente se encontraba sin funcionamiento debido a que varias partes de la misma fueron retiradas, no contaba con los respectivos instrumentos de medición, y otras partes en mal estado.

El Megaproyecto manejó dos finalidades: la restauración de la torre de pared mojada y la implementación de sensores indicadores y de control electrónico. Al haber instalado completamente el equipo, se procedió a realizar corridas de prueba para asegurar el correcto funcionamiento. El objetivo de la restauración y automatización de la torre de pared mojada fue que el usuario pudiera operarla, en forma manual como automática, para realizar prácticas de transferencia de masa, obteniendo así datos experimentales para calcular los coeficientes de transferencia de masa de cuatro líquidos (Agua, Metanol, Etanol y 2-propanol) hacía el aire. Las finalidades del Megaproyecto fueron planificadas y gestionadas dándole seguimiento a una calendarización de tareas específicas para cumplir con los objetivos. Se logró demostrar el ahorro monetario para la Universidad del Valle de Guatemala al haber realizado el proyecto con estudiantes, evaluando la alternativa de haberlo hecho contratando a una empresa externa especializada y la alternativa de la compra directa a un proveedor especializado.

La metodología del módulo de planeación y gestión se basó en las siguientes etapas:

- a) Gestión: se administró de la manera más ordenada y eficiente el manejo de recursos, tales como: tiempo, herramientas, materiales, humanos, entre otros.
- b) Planificación: se estableció una calendarización de actividades con tareas específicas para cumplir con los tiempos estimados en la realización del proyecto.
- c) Cotización: se realizó una lista de los materiales necesarios para la elaboración del proyecto, se buscó diferentes empresas especializadas con relación a esa lista y se les envió una solicitud con las especificaciones requeridas de cada material.

- d) Seguimiento: se verifico que cada tarea asignada se fuera cumpliendo, así como también se encargó de analizar y confirmar las cotizaciones y proceder a presionar las órdenes de compra.

Mientras que la metodología del módulo de restauración y automatización se llevó a cabo en las siguientes fases:

- Restauración de la torre de pared mojada.
- Selección de sensores y controladores para la operación del equipo.
- Diseño de la interfaz gráfica para el programa de operación del equipo.
- Elaboración de un manual de operación del equipo.
- Determinación de los coeficientes de transferencia de masa para diferentes líquidos al aire a partir de los datos obtenidos en corridas experimentales.

Entre las principales conclusiones obtenidas en este Megaproyecto se menciona que la restauración de la torre tuvo un costo de Q9, 409.14 de los Q64, 971.93 del costo total del proyecto. Los sensores seleccionados para automatizar la torre de pared mojada fueron 2 balanzas marca Mettler Toledo, 6 RTD marca Instrucon y 2 sensores de presión diferencial marca Dywer, los cuales son gobernados por un PLC Micrologix 1100, siendo este un controlador adecuado para la magnitud del proyecto y con la capacidad de añadir dos módulos auxiliares RTD y un módulo auxiliar analógico para cumplir con los requerimientos de las señales de los sensores. Las ecuaciones que correlacionan los coeficientes de transferencia de masa son $N_{Sh} = 0.028N_{Re}^{0.79}N_{Sc}^{0.69}$ para el agua, $N_{Sh} = 0.026N_{Re}^{0.80}N_{Sc}^{0.72}$ para el metanol, $N_{Sh} = 0.025N_{Re}^{0.80}N_{Sc}^{0.67}$ para el etanol y $N_{Sh} = 0.021N_{Re}^{0.81}N_{Sc}^{0.75}$ para el 2-propanol. Se llevó a cabo la implementación exitosa del proyecto, a nivel de laboratorio, planificado por estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala. Se logró un ahorro monetario para la Universidad del Valle de Guatemala en la implementación del proyecto versus la contratación externa o compra directa del mismo. Se recuperó la inversión en función de la excelente preparación de estudiantes futuros de la Universidad del Valle de Guatemala, contando con equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias automatizados.

II. MARCO TEÓRICO

A. MÓDULO DE GESTIÓN Y PLANEACIÓN

1. Gestión de un proyecto

a. Proyecto. Un proyecto se refiere a la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema posible de resolver, con el fin de satisfacer las necesidades humanas en todas sus facetas, las cuales pueden ser: educación, alimentación, salud, ambiente, cultura, etc. (Briceño L., 1996)

2. Importancia. La necesidad de llevar a cabo un proyecto surge siempre que exista necesidad humana de algún bien o servicio. Actualmente, una inversión inteligente requiere una base de justificación, esta se refiere a un proyecto bien estructurado y evaluado que indique el modelo que debe seguirse.

3. Toma de decisiones. Para tomar alguna decisión en un proyecto se necesita que este sea analizado multidisciplinariamente, ya que una decisión de este tipo tendría un enfoque limitado al ser tomada por una sola persona con un único punto de vista.

No se puede definir una metodología que guíe la toma de decisiones sobre un proyecto debido a la gran diversidad de proyectos y sus diferentes aplicaciones, pero sí es posible afirmar categóricamente que una decisión siempre debe basarse en el análisis de antecedentes con la aplicación de una metodología lógica que abarque la consideración de todos los factores que participan y afectan al proyecto. A las actividades enfocadas a tomar una decisión de inversión sobre un proyecto se le denomina: evaluación de proyectos. (Baca Urbina, 2006)

4. Evaluación. En el análisis y evaluación de un proyecto, se emiten datos, opiniones, juicios de valor, prioridades, entre otros. Estos factores hacen diferir la decisión final. El encargado de tomar la decisión final debe contar con

un modelo de comparación general que le permita discernir cuál de las dos opciones se apega más a lo razonable, lo establecido o lo lógico. Existen diferentes criterios de evaluación, aunque es la parte fundamental del estudio por ser la base para decidir sobre el proyecto, depende del criterio adoptado de acuerdo con el objetivo general del proyecto. Entonces, la realidad económica, política, social y cultural de la entidad donde se piense invertir, marcara los criterios que se seguirán para realizar la evaluación adecuada, independientemente de la metodología empleada. Por tanto, los criterios y evaluación son la parte fundamental de toda evaluación de proyectos. (Baca Urbina, 2006)

5. Proceso de preparación y evaluación. Las áreas generales en las que es aplicable la metodología de evaluación de proyectos es:

- ✓ Instalación de una nueva planta
- ✓ Elaboración de un nuevo producto en una planta ya existente
- ✓ Ampliación de la capacidad instalada
- ✓ Sustitución de maquinaria por obsolescencia o capacidad insuficiente

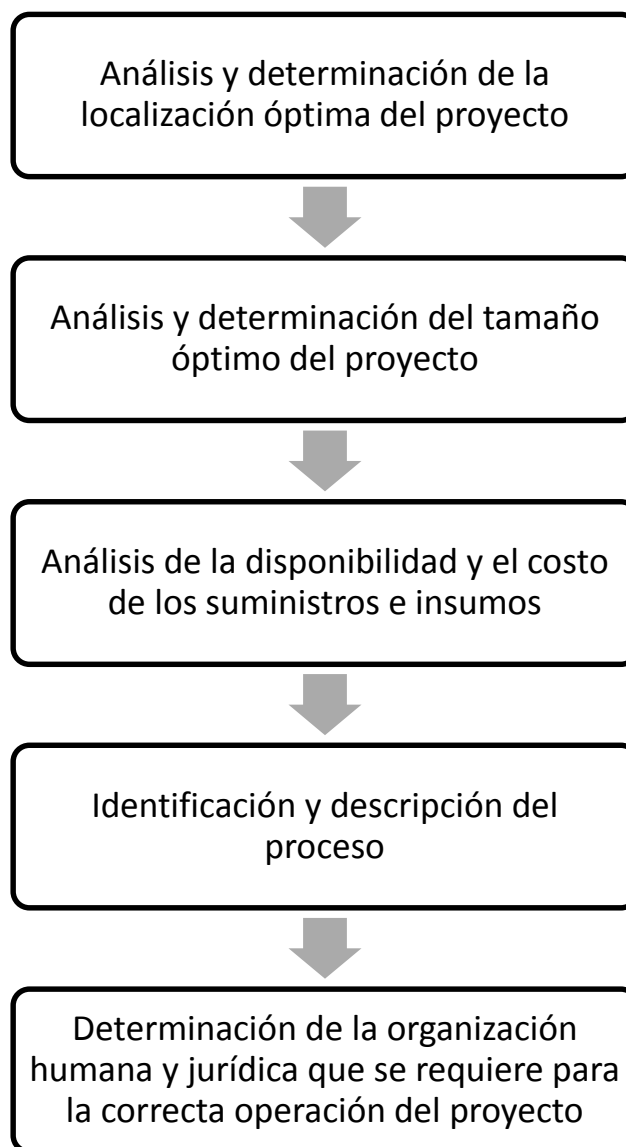
Esta metodología se ha aplicado en estudios de implantación de redes de microcomputadoras, sustitución de sistemas manuales por sistemas automatizados, etc. (Baca Urbina, 2006)

a. Estudio técnico. En un proyecto se deben conocer, aprender y aplicar las partes y técnicas que se emplean al realizar un estudio técnico dentro de la evaluación.

- Objetivos:
 - ✓ Verificar la posibilidad técnica de la elaboración de la utilidad que se pretende
 - ✓ Analizar y determinar el tamaño óptimo, localización optima, equipos, instalaciones y organización requeridos para realizar el proyecto

Las partes que conforman el estudio técnico de un proyecto se muestran a continuación en la Figura No. 1

Figura No. 1 Partes que conforman un estudio técnico



(Baca Urbina, 2006)

b. Ingeniería del proyecto. El objetivo de ingeniería en un proyecto es resolver todo lo respectivo a la instalación y funcionamiento, desde la descripción del proceso, adquisición de material y equipo, hasta definir la estructura jurídica y de organización que habrá de tener.

c. Factores que determinan la adquisición de material y equipo.

Al momento de decidir sobre la compra de materiales y equipo para un proyecto, se deben tomar en cuenta los factores que afectan la elección.

- Proveedor

Esta información es útil para la presentación formal de las cotizaciones.

- Precio

Este se toma en cuenta en el cálculo de la inversión inicial.

- Dimensión

Este dato se utiliza para determinar la distribución física.

- Capacidad

No se debe comprar capacidad ociosa o provocar cuellos de botella, es decir, la cantidad y capacidad de equipo debe ser tal que el material fluya en forma continua.

- Flexibilidad

Algunos equipos son capaces de realizar operaciones y procesos unitarios en ciertos rangos que provocan en el material cambios físicos, químicos o mecánicos.

- Mano de obra

Es necesario determinar la mano de obra necesaria para calcular su costo y el nivel de capacitación requerido.

- Costo de mantenimiento

Este dato es proporcionado por el fabricante.

- Consumo de energía

Es necesario conocerlo para calcular su costo, es indicado en la placa de todos los equipos.

- Infraestructura necesaria

Algunos equipos necesitan alguna infraestructura especial, lo cual es importante preverlo ya que podría incrementar la inversión inicial.

- Equipos auxiliares

Existen equipos que requieren aire a presión, agua fría o caliente. Proporcionar estos equipos auxiliares aumenta la inversión y los requerimientos de espacio.

- Costo de flete y seguro

Se debe verificar si el costo de flete y seguro se encuentran incluidos en el precio original o no, y a cuánto ascienden.

- Costo de instalación y puesta en marcha

Se debe verificar si este se incluye en el precio original y a cuánto asciende.

- Existencia de refacciones en el país

Existen equipos, sobre todo los de avanzada tecnología, cuyas refacciones únicamente se pueden obtener importándolas. Se debe prevenir, ya que si se dan problemas con las divisas o para importar, el equipo puede permanecer parado. (Briceño L., 1996)

d. Gestión de compras. El proceso de compras es un punto crítico para un proyecto, ya que de este depende que se obtenga el producto que mejor se adapte a las necesidades establecidas y al tiempo de entrega. En una empresa, generalmente, la logística de compras la lleva a cabo un departamento encargado.

- Departamento de compras

Este departamento tiene como función asegurar que la empresa tenga los mejores proveedores para lograr abastecer los productos y servicios óptimos, buscando minimizar los costos y maximizar las utilidades. El departamento de compras tiene como principales responsabilidades:

- ✓ Mantener la continuidad de la materia prima tomando en cuenta la planificación establecida
- ✓ Adquirir los suministros de acuerdo a las normas de calidad requerida
- ✓ Adquirir los productos al costo total más bajo posible, siempre que se encuentre dentro de las condiciones y plazos de entrega requeridos

- ✓ Prevenir las variaciones de precios del mercado y las tendencias que sean de interés de la organización
- Proceso de compras

Para que el proceso de compras resulte eficiente, es indispensable la buena comunicación entre los departamentos involucrados. Este proceso consta de las siguientes fases:

- ✓ Reconocimiento de la necesidad

Esta fase da inicio al proceso de compras, de manera que el comprador reconoce tener cierta necesidad para adquirir materiales o equipo, los cuales serán útiles para las funciones principales del proyecto.

- ✓ Recolección de datos

En esta fase, el comprador debe recolectar información en el mercado sobre los diferentes proveedores posibles, parámetros de oferta, características y especificaciones del producto y las exigencias de calidad de la empresa.

- ✓ Planteamiento de alternativas

En esta fase, el comprador solicita cotizaciones a los proveedores y les da el respectivo seguimiento para armar una base de datos y lograr una comparación efectiva.

- ✓ Evaluación de cotizaciones

En esta fase, el comprador selecciona, según los criterios principales de evaluación, a los proveedores que presenten la oferta más conveniente para la empresa.

- ✓ Toma de decisiones

En esta fase, se toman decisiones de compra considerando en la evaluación: proveedor, cantidad a comprar, valor de compra, forma de pago, transporte, lugar y fecha de entrega, características y especificaciones del producto, envase y embalaje, entre otros.

- ✓ Ejecución de compra

En esta fase, se materializa la compra y se realizan negociaciones finales.

✓ Monitoreo post - compra

Finalmente, esta fase consiste en verificar el avance del despacho de las órdenes de compra y confirmar que no existan fallas o errores en estas.

- Formas de compra

✓ Compra directa

Esta forma de compra se refiere a cuando se adquiere el producto o servicio con un determinado proveedor al precio de la cotización, sin considerar otros proveedores potenciales. Este caso se presenta cuando la empresa tiene alguna preferencia por un proveedor, ya sea por descuentos especiales u otra razón, o existe monopolio del material o equipo que se desea comprar.

✓ Compra por cotización

Esta forma de compra consiste en un procedimiento formal, en donde se realizan solicitudes de cotización en base a especificaciones de la empresa. Mientras exista una gran cantidad de proveedores de confianza en el mercado, esta forma será factible.

✓ Compra por licitación

Esta forma se presenta cuando la empresa hace pública la necesidad de adquirir algún material en base a especificaciones. La licitación se hace de acuerdo a un cronograma y los proveedores potenciales envían sus ofertas propuestas.

B. MÓDULO DE RESTAURACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN

1. Principios de transferencia de masa. La transferencia de masa se basa en diferencias en la presión de vapor, solubilidad, o difusividad y no en el tamaño o la densidad de las partículas. La fuerza impulsora para la transferencia es una diferencia de concentración o una diferencia en actividad, de la misma forma que una diferencia de temperatura o un gradiente de temperatura constituye la fuerza impulsora para la transferencia de calor. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

Si dos fases llegan al equilibrio se alcanza un límite en la transferencia de masa, de forma que dicha transferencia neta se anula, las variables controlantes son las propiedades intensivas de temperatura, presión y concentraciones. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

a. Difusión molecular. La difusión es el movimiento, bajo la influencia de un estímulo físico, de un componente individual a través de una mezcla. La causa más frecuente de la difusión es un gradiente de concentración del componente que difunde. Un gradiente de concentración tiende a mover el componente en una dirección tal que iguale las concentraciones y anule el gradiente. Cuando el gradiente se mantiene mediante el suministro continuo de los componentes de baja y alta concentración, existe un flujo en estado estacionario del componente que se difunde. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

La rapidez con la cual un soluto se mueve en cualquier punto y en cualquier dirección dependerá, por tanto, del gradiente de concentración en ese punto y esa dirección. (Treybal, 1988)

La rapidez de transferencia puede describirse adecuadamente en función del flujo molar, o moles/(tiempo)(área), ya que el área se mide en una dirección normal a la difusión. Hay dos fluxes para describir el movimiento de un componente: N , el flux relacionado con un lugar fijo en el espacio, y J , el flux de un compuesto con relación a la velocidad molar promedio de todos los componentes.

La difusividad, o coeficiente de difusión, D_{AB} de un componente A en solución en B, es una medida de la movilidad de difusión, se define como la relación de su flux J_A y su gradiente de concentración. (Treybal, 1988)

$$J_A = -D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial z}$$

Ecuación No. 1

que es la primera ley de Fick, en este caso para la dirección z . El signo negativo hace hincapié que la difusión ocurre en el sentido del decremento en concentración. La difusividad es una característica de un componente y de su entorno (temperatura, presión, concentración) -ya sea en solución líquida, gaseosa o sólida- y la naturaleza de los otros componentes. (Treybal, 1988)

b. Difusividad de gases. Con frecuencia no se dispone de los valores deseados para la difusividad de gases, siendo preciso estimarlos a partir de las correlaciones publicadas. A veces se dispone de un valor para un conjunto de condiciones de temperatura y presión; entonces las correlaciones resulta útiles para predecir, a partir de un valor conocido, los valores deseados en otras condiciones. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

La difusividad, o coeficiente de difusión, D , es una propiedad del sistema que depende de la temperatura, presión y de la naturaleza de los componentes. Sus dimensiones son *longitud*²/*tiempo*. La mayoría de los valores que aparecen en la bibliografía sobre D están expresados en cm^2/s . (Treybal, 1988)

Las expresiones para calcular D cuando no se cuenta con datos experimentales, están basadas en la teoría cinética de los gases. Se recomienda la modificación de Wilke-Lee del método de Hirschfelder-Bird-Spotz para mezclas de gases no polares o de un gas polar con un no polar

$$D_{AB} = \frac{10^{-4} \left(1.084 - 0.249 \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \right) T^{3/2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}}{p_t (r_{AB})^2 f(kT/\varepsilon_{AB})}$$

Ecuación No. 2

en donde:

D_{AB} = difusividad, m^2/s

T = temperatura absoluta, K

M_A, M_B = peso molecular de A y B, respectivamente, kg/kmol

p_t = presión absoluta, N/m^2

r_{AB} = separación molecular durante el choque, $nm = (r_A + r_B)/2$

ε_{AB} = energía de atracción molecular = $\sqrt{\varepsilon_A \varepsilon_B}$

k = constante de Boltzmann

$f(kT/\varepsilon_{AB})$ = función de choque dada por la Figura No. 2

(Treybal, 1988)

Los valores de r y ε , pueden calcularse a partir de otras propiedades de los gases, como la viscosidad. Si es necesario, pueden calcularse empíricamente para cada componente.

$$r = 1.18v^{1/3}$$

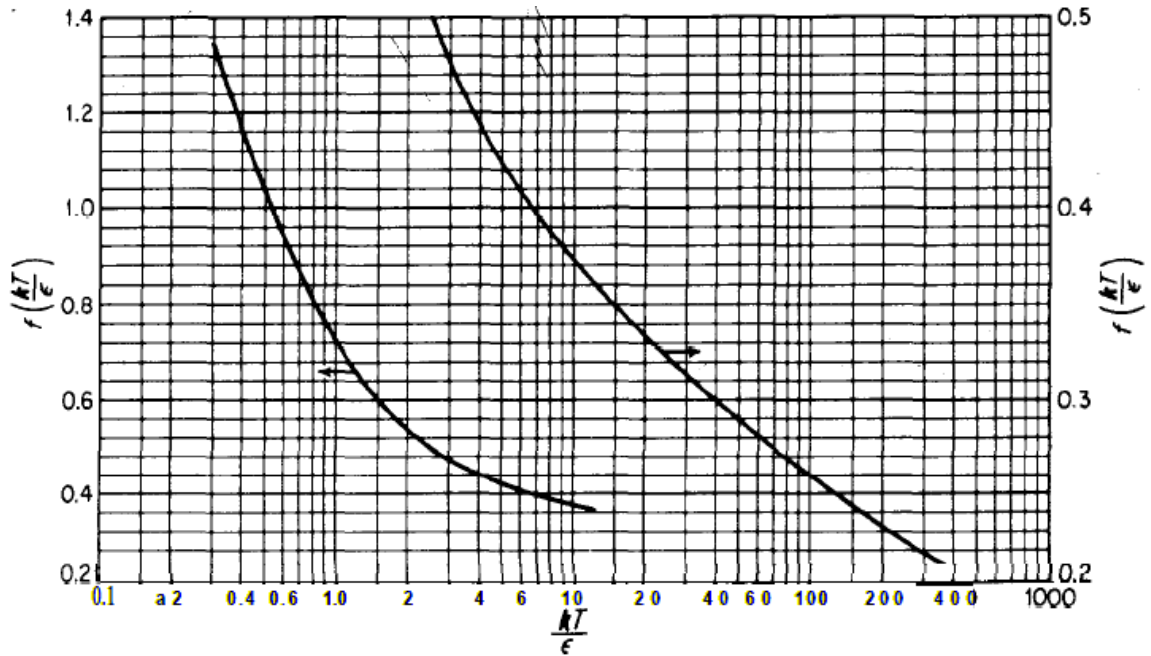
Ecuación No. 3

$$\frac{\varepsilon}{k} = 1.21T_b$$

Ecuación No. 4

en donde v = volumen molal del líquido en el punto de ebullición normal, y T_b = punto de ebullición normal, K. (Treybal, 1988)

Figura No. 2 Función de choque para la difusión



(Treybal, 1988)

c. Difusión turbulenta o de remolino. En un régimen turbulento, al moverse los remolinos transportan materia desde un punto a otro, lo mismo que transportan cantidades de movimiento y energía en forma de calor. La difusividad de remolino depende de las propiedades del fluido, pero también de la velocidad y de la posición en la corriente. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

La transferencia de masa en la región turbulenta también es rápida, mucho más que la resultante de la difusión molecular en la subcapa laminar. Debido al rápido movimiento de remolino, los gradientes de concentración en la región turbulenta serán menores que los que existen en la película. (Treybal, 1988)

Se formula la siguiente ecuación, para la transferencia de materia:

$$J_A = -(D_{AB} + E_D) \frac{dc_a}{dz}$$

Ecuación No. 5

donde J_A =densidad de flujo molar A, con relación a la fase en su conjunto, debido a la acción turbulenta; E_D =difusividad turbulenta o de remolino. (Treybal, 1988)

Esta ecuación se ha utilizado con relaciones teóricas o empíricas para E_D en estudios fundamentales de transferencia de masa, resulta útil para ayudar a comprender la forma de algunas correlaciones empíricas aplicables a la transferencia de masa. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

d. Coeficientes de transferencia de masa. El mecanismo de la difusión molecular en gases es conocido bastante bien. La rapidez de la transferencia de masa a través de varias regiones desde la superficie hasta la zona turbulenta, se trata de describir como se describió la difusión molecular. (Treybal, 1988)

Para soluciones binarias,

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} F \ln \frac{\frac{N_A}{(N_A + N_B)} - c_{A2}/c}{\frac{N_A}{(N_A + N_B)} - c_{A1}/c}$$

Ecuación No. 6

En donde c_A/c es la concentración en fracción mol, x_A para líquidos, y_A para gases. La F de la ecuación (4.6) es un coeficiente de transferencia de masa local, definido para un lugar particular sobre la superficie límite de la fase. Este varía según su posición en la superficie y según las propiedades del fluido.

Si el fluido se encuentra en una tubería cerrada, de tal forma que la concentración no es constante en ningún punto a lo largo de la trayectoria de transferencia, se utiliza la concentración promedio total, de igual forma se puede utilizar en ciertos casos un valor de F promedio. (Treybal, 1988)

Hay situaciones en las que se utilizan coeficientes de transferencia de masa especiales. Éstos se definen por ecuaciones de la forma:

$$\text{Flux} = \text{coeficiente (diferencia de concentración)}$$

Puesto que la concentración puede definirse de diversas maneras y como no se han establecido estándares, existen distintos coeficientes para cada situación. (Treybal, 1988)

Por ejemplo, para el caso de la transferencia de A a través de una sustancia no difundente B, donde

$N_B = 0$ y $\frac{N_A}{N_A + N_B} = 1$, se plantean las siguientes ecuaciones equivalentes:

$$N_A = k_G(\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}) = k_y(y_{A1} - y_{A2}) = k_c(c_{A1} - c_{A2}) \text{ en gases}$$

Ecuación No. 7

$$N_A = k_x(x_{A1} - x_{A2}) = k_L(c_{A1} - c_{A2}) \text{ en líquidos}$$

Ecuación No. 8

donde las unidades del coeficiente k, dependen de la situación particular de transferencia de masa y del gradiente de concentración empleado. Los coeficientes k en la Ecuación No. 7 y Ecuación No. 8 son

generalmente útiles sólo para rapidezces de transferencia de masa bajas. Si se llegara a tener otra rapidez de transferencia de masa, es necesario convertirlos a F para usarlos con la Ecuación No. 6. (Treybal, 1988)

e. Importancia de los coeficientes de transferencia de

masa. En los procesos de separación, la rapidez con la que un componente es transferido de una fase a otra depende del coeficiente de transferencia de masa y del grado de desviación del sistema respecto al equilibrio. El método más usado para lograr una separación, es la desviación del sistema respecto al equilibrio. Los coeficientes de transferencia de masa regulan la rapidez con que se alcanza el equilibrio, controlando el tiempo en que se lleva a cabo una separación. Esto incide directamente en el tamaño y costo del equipo. Los coeficientes de transferencia de masa también son importantes en reactores, ya que pueden controlar la rapidez de una reacción química, por ejemplo cuando se tienen reactivos y productos gaseosos sobre un catalizador sólido. (Ramos, 1997)

f. Análisis dimensional.

Las variables importantes en la transferencia de masa turbulenta en una tubería, son el diámetro del tubo (d), la densidad y viscosidad del fluido (ρ y μ), la velocidad del fluido, la difusividad molecular del componente A en el fluido B, el coeficiente de transferencia de masa. Por medio del análisis dimensional, dichas variables se agrupan en tres grupos adimensionales:

$$N_{Sh} = \phi(N_{Re}, N_{Sc})$$

Ecuación No. 9

siendo ϕ una función que depende de las condiciones de flujo y de la geometría del sistema. (Treybal, 1988)

El número de Sherwood (N_{Sh}) es la relación entre la transferencia de masa total y la transferencia de masa por transporte molecular. Se puede escribir de varias formas, dependiendo del coeficiente de transferencia utilizado (Gilliland & Sherwood, 1934):

$$N_{Sh} = \frac{Fd}{cD_{AB}} = \frac{k_G \bar{p}_B RTd}{p_t D_{AB}} = \frac{k_Y RTd}{M_B p_t D_{AB}}$$

Ecuación No. 10

El número de Schmidt (N_{Sc}) es la relación entre la difusividad molecular (o viscosidad cinemática) y la difusividad de masa. Se puede escribir así (McCabe, Smith, & Harriott, 2007):

$$N_{Sc} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}}$$

Ecuación No. 11

El número de Reynolds expresa la relación entre la transferencia por flujo turbulento y la transferencia por flujo laminar (Perry & Green, 1997).

$$N_{Re} = \frac{\rho \bar{V} d}{\mu}$$

Ecuación No. 12

g. Transferencia de masa interfacial. En la mayoría de operaciones de transferencia de masa, se ponen en contacto dos fases insolubles, con el fin de que entre dichas fases se establezca la transferencia de las sustancias que la forman. Por lo tanto, interesa la aplicación simultánea del mecanismo de difusión para cada fase en el sistema combinado. Ya se vio que la rapidez de difusión dentro de cada fase depende del gradiente de concentración que existe en ella. Al mismo tiempo. Los gradientes de concentración del sistema de dos fases, indican el alejamiento de la posición de equilibrio que existe entre las fases. Si se estableciese el equilibrio, los gradientes de concentración y por ende la rapidez de difusión descenderían a cero. Por lo tanto, es necesario considerar tanto los fenómenos de difusión como los equilibrios, con el fin de describir por completo las diferentes situaciones. (Treybal, 1988)

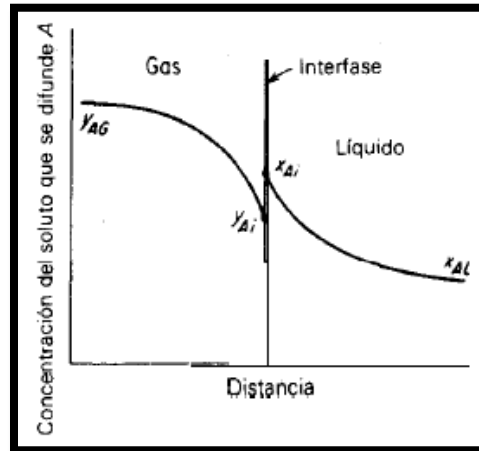
Los principios siguientes son comunes a todos los sistemas en que ocurra la distribución de sustancias entre dos fases insolubles:

- Es un conjunto fijo de condiciones existe, con referencia a la temperatura y presión, una serie de relaciones en el equilibrio; dichas relaciones pueden mostrarse gráficamente en la forma de una curva de distribución en el equilibrio para cada sustancia distribuida; con este propósito, se grafican una contra otra las concentraciones en el equilibrio de la sustancia en las dos fases.
- Para un sistema en el equilibrio, no hay difusión neta de los componentes entre las fases.
- Cuando un sistema no está en equilibrio, la difusión de los componentes entre las fases sucede de tal forma que el sistema alcanza una condición de equilibrio. Si hay tiempo suficiente, prevalecerán por último las concentraciones en el equilibrio.

Se estudiará la situación a una altura particular de la torre; por ejemplo, entre la parte superior y la inferior. Puesto que el soluto se está difundiendo de la fase gaseosa hacia el líquido, debe existir un gradiente de concentración en el sentido de la transferencia de masa dentro de cada fase. Esto puede mostrarse en la Figura No. 3, en donde se muestra una sección a través de las dos fases en contacto. Se supone que no ocurre reacción química. La concentración de A en la masa principal del gas es $y_{A,G}$ fracción mol y descende hasta

$y_{A,i}$ en la interfase. En el líquido, la concentración desciende de $x_{A,i}$ en la interfase a $x_{A,L}$ en la masa principal del líquido. Las concentraciones $y_{A,G}$ y $x_{A,L}$ no son claramente valores en el equilibrio, puesto que si lo fueran, no habría difusión del soluto. Al mismo tiempo, estas concentraciones no pueden utilizarse de modo directo con un coeficiente de transferencia de masa para describir la rapidez de transferencia de masa en la interfase, porque las dos concentraciones están relacionadas de manera distinta con el potencial químico, el cual es la fuerza motriz real de la transferencia de masa. (Ramos, 1997)

Figura No. 3 Concepto de la doble resistencia



(Treybal, 1988)

Se tienen los coeficientes k_y y k_x , son los coeficientes aplicables de forma local,

$$N_A = k_y(y_{A,G} - y_{A,i}) = k_x(x_{A,i} - x_{A,L})$$

Ecuación No. 13

las diferencias en las y y las x se consideran como las fuerzas motrices para la transferencia de masa. La reordenación

$$\frac{y_{A,G} - y_{A,i}}{x_{A,L} - x_{A,i}} = -\frac{k_x}{k_y}$$

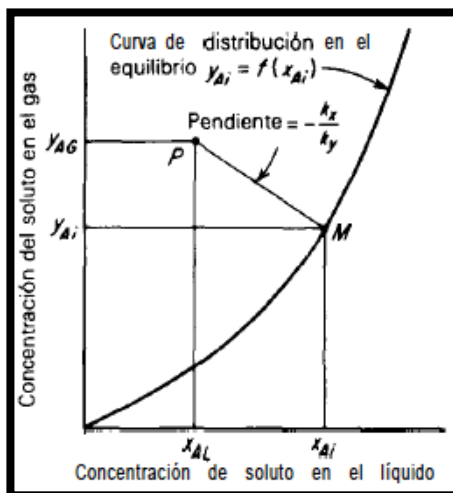
Ecuación No. 14

proporciona la pendiente de la línea PM, que se observa en la Figura No. 4. Si se conocen los coeficientes de transferencia de masa, pueden determinarse las concentraciones en la interfase y, por ende, el flux N_A , ya sea gráficamente o analíticamente, resolviendo la Ecuación No. 14 con una expresión para la curva de distribución en el equilibrio. (Treybal, 1988)

$$y_{A,i} = f(x_{A,i})$$

Ecuación No. 15

Figura No. 4 Alejamiento de las concentraciones de las fases totales del equilibrio



(Treybal, 1988)

2. Torre de pared mojada

f. Descripción de Torre de pared mojada.

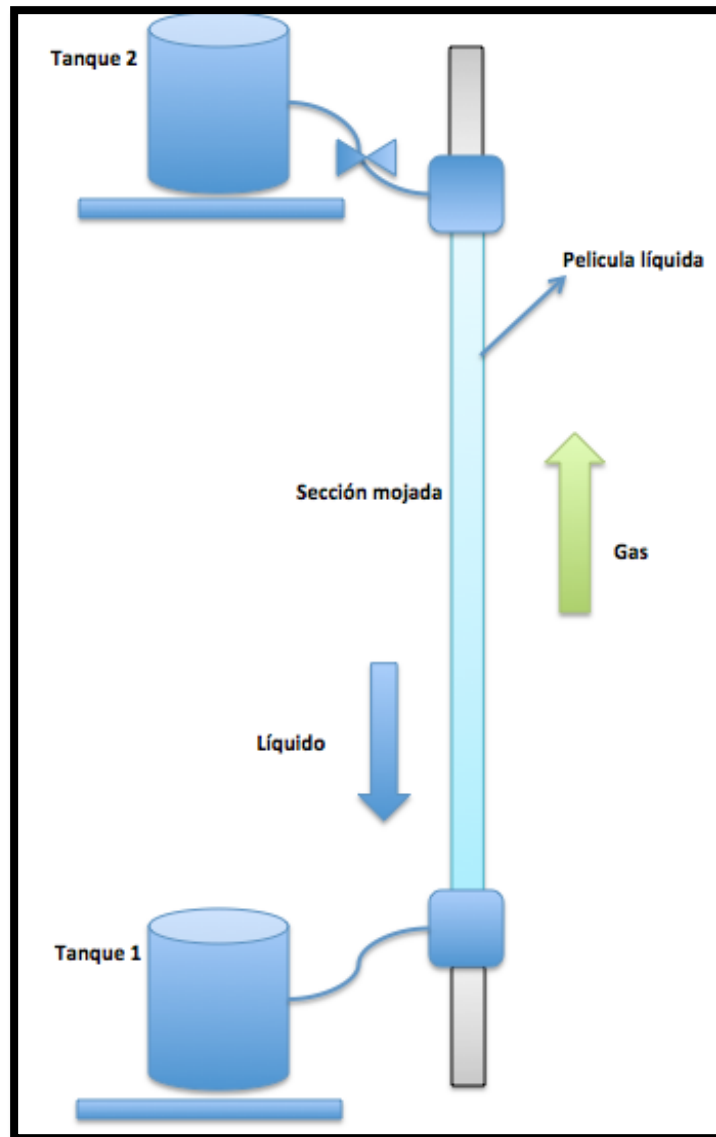
La torre de pared mojada es un dispositivo para estudios de transferencia de masa. Esquemáticamente se muestra en la Figura No. 5. Una película de líquido desciende a través de la pared del tubo, a la vez que un gas circula por en medio del tubo en flujo paralelo o contracorriente. La transferencia de 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. (McCabe, Smith, & Harriot, 1991)

La torre de pared mojada es un equipo en donde es posible estudiar el coeficiente k , ya que el área de contacto entre las fases se conoce y no se tiene lugar a la separación de la capa límite. En la torre de pared mojada no se tiene fricción de forma. (McCabe, Smith, & Harriot, 1991)

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 estándar 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. (Jackson & Ceaglske, 1950)

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 hacía 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. (Gilliland & Sherwood, 1934)

Figura No. 5 Esquema torre pared mojada



(Ramos, 1997)

g. 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 9 líquidos, en flujo paralelo y en contracorriente, con lo cual abarcaron N_{Sc} desde 0.6 a 2.5 y variaron N_{Re} desde 2000 a 35000. El utilizar 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 relativa al tubo y no relativa al líquido. (Gilliland & Sherwood, 1934)

La ecuación que correlacionaba todos los datos fue:

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

Ecuación No. 16

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. (Gilliland & Sherwood, 1934)

h. Diseño de una torre de pared mojada. El número de unidades de transferencia (N_{tG}) y la altura de una unidad de transferencia (H_{tG}), 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 (Sherwood, 1952):

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

Ecuación No. 17

Por lo general, N_{tG} 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, H_{tG} , 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 proporciona una base para comprender el mecanismo de transferencia de masa en este y otros sistemas. (Treybal, 1988)

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

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

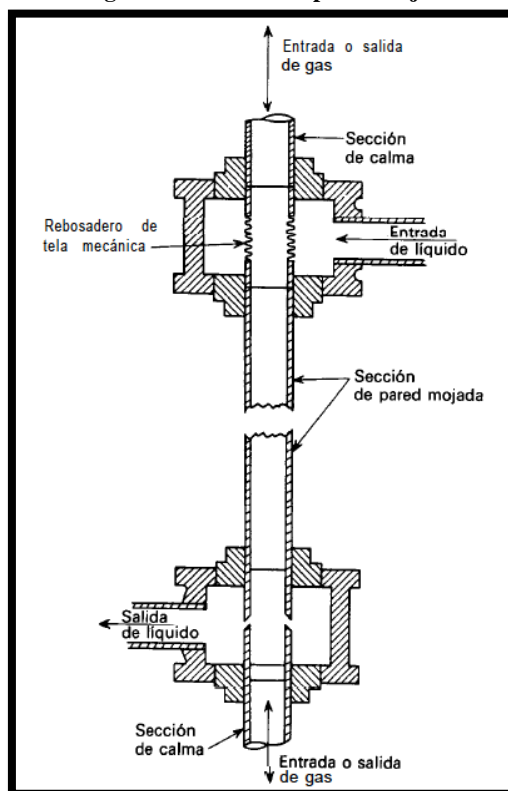
Ecuación No. 18

donde $a=4/d$ en el caso de la torre de pared mojada. Esta ecuación puede combinarse con valores experimentales de k_y para obtener la altura de una unidad de transferencia. (Treybal, 1988)

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. (Jackson & Ceaglske, 1950)

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 del gas 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. (Jackson & Ceaglske, 1950)

Figura No. 6 Torre de pared mojada



(McCabe, Smith, & Harriot, 1991)

i. Estructura de soporte para la torre. El objetivo de tener una estructura es colocar el equipo en un área estable, para que este no sufra daños y también proporcionar un área de trabajo para el usuario en la parte superior de la torre.

Para fabricar la estructura se puede utilizar acero negro, este sale directamente del proceso de fundición.

Este tipo de acero no ha pasado o sufrido algún tratamiento como (Hull, 2003):

- Galvanizado: proceso electroquímico en el cual se cubre el acero con otro metal.
- Inoxidable: cuando existe una aleación de hierro con cromo.
- Lacado: cuando se añade pinturas o pigmentos al acero.

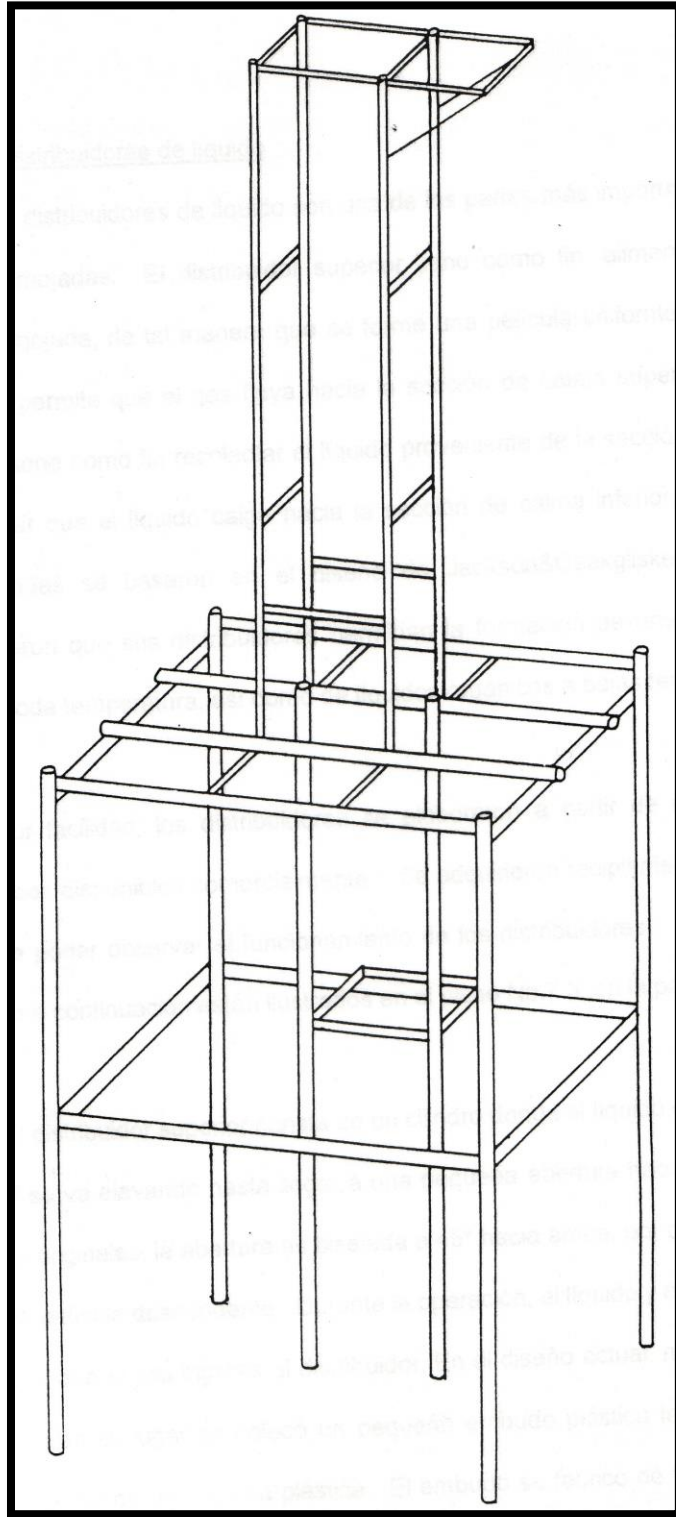
Existen diferentes tipos de aceros negros, las cuales se definen por su composición de carbono y su dureza, creando diferentes calidades en el acero negro. (Hull, 2003)

El acero negro es un material sumamente utilizado para la fabricación de tuberías. Una de las características de las tuberías de acero negro, es que en contacto con el aire se oxida cubriéndose con una película de color pardo oscuro muy característica. Una forma de evitarlo, es añadiendo una protección a la tubería con algún recubrimiento anti oxidante. (Hull, 2003)

La soldadura es un proceso de unión entre metales por la acción del calor, con o sin aportación de material metálico nuevo, dando continuidad a los elementos unidos. Es necesario suministrar calor hasta que el material de aportación funda y una ambas superficies, o bien lo haga el propio metal de las piezas. Deben evitarse porosidades y grietas sujetando firmemente las piezas que se quieren soldar, evitando también deformaciones. (Gil, 2005)

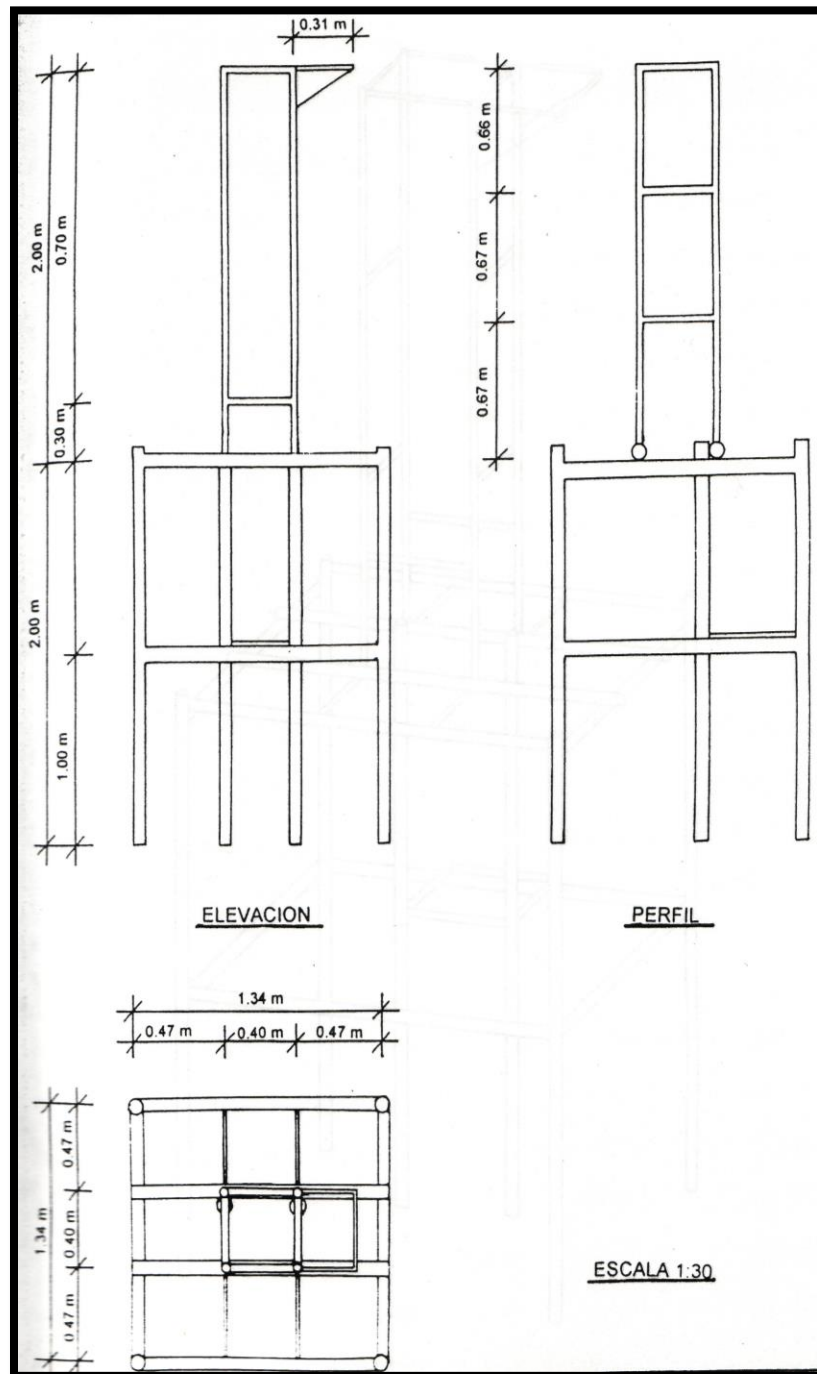
En la actualidad, la soldadura eléctrica resulta indispensable para un gran número de industrias. Es un sistema de reducido costo, de fácil y rápida utilización, resultados perfectos y aplicable a toda clase de metales. El procedimiento de soldadura por arco consiste en provocar la fusión de los bordes que se desea soldar mediante el calor intenso desarrollado por un arco eléctrico. Los bordes de fusión de las piezas y el material fundido que se separa del electrodo se mezclan íntimamente, formando, al enfriarse, una pieza única, resistente y homogénea. Los electrodos metálicos pueden estar recubiertos con cal, mejorando mucho la soldadura. (Gil, 2005)

Figura No. 7 Estructura torre pared mojada en 3D



(Ramos, 1997)

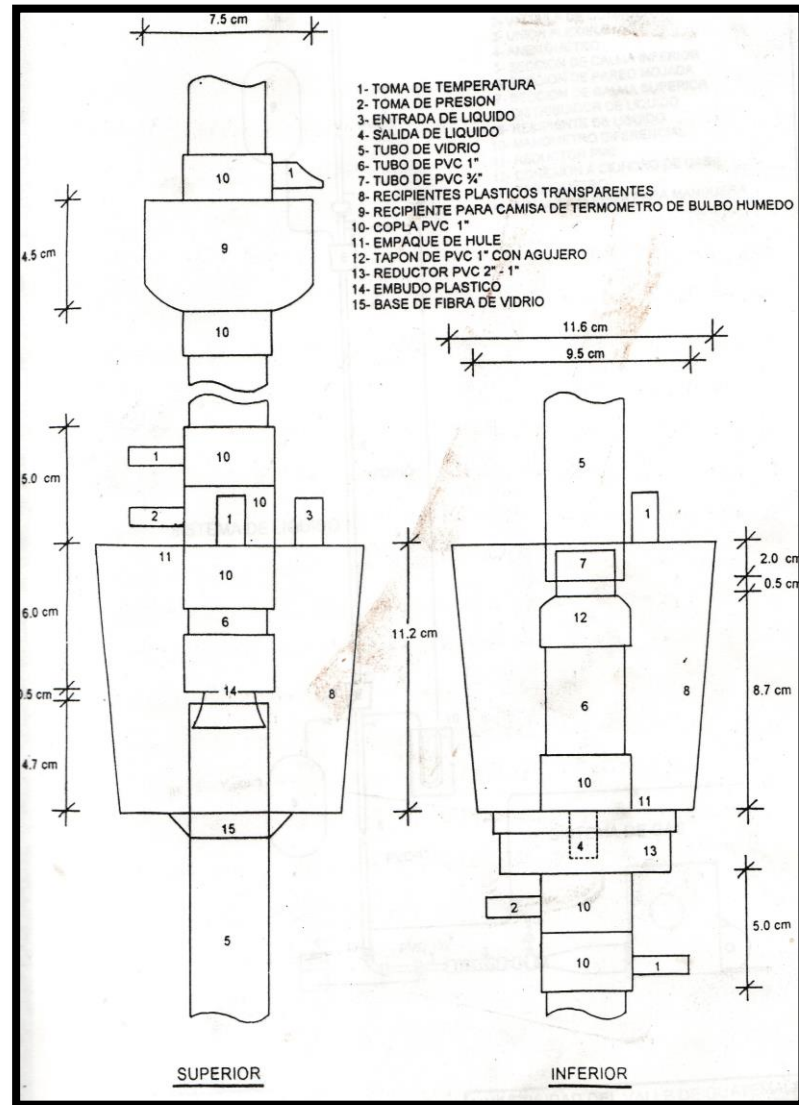
Figura No. 8 Estructura torre pared mojada



(Ramos, 1997)

j. Distribuidores de líquido. Los distribuidores son una parte clave en la torre de pared mojada, en la parte superior tiene el fin de alimentar el líquido a la parte de sección mojada y al mismo tiempo permite que el aire fluya a la sección de calma superior. El distribuidor de la parte inferior tiene el fin de recolectar el líquido que baja por la sección mojada y llevarlo al recipiente en la parte inferior, también permite que el aire fluya de la sección de calma inferior hacía la sección mojada. (Ramos, 1997)

Figura No. 9 Diseño distribuidores de líquido

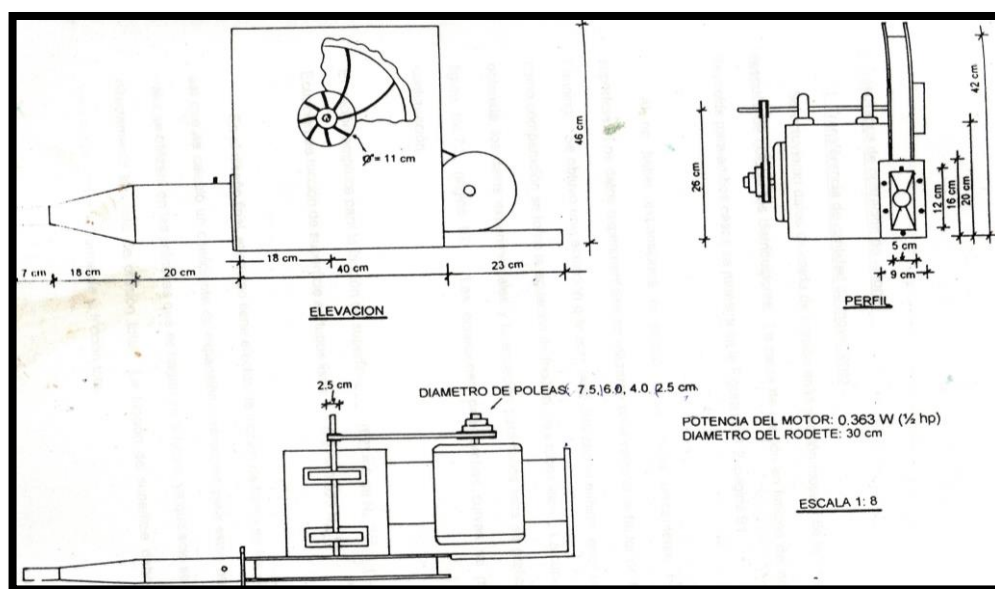


(Ramos, 1997)

El tanque de líquido superior debe alimentar la torre de forma continua directamente al distribuidor en la parte superior. De esta forma se logra formar la película en la sección mojada de la torre, el líquido va a descender por gravedad ya que los flujos requeridos deben de ser pequeños. (Ramos, 1997)

k. Sistema de aire. Para obtener el flujo de aire necesario en la operación de la torre de pared mojada, se cuenta con el ventilador descrito en la Figura No. 9. El rango de velocidad recomendado para operar la torre es de 1-5 m/s. (Ramos, 1997)

Figura No. 10 Diseño del ventilador



(Ramos, 1997)

La medición del flujo de aire se puede realizar utilizando una placa de orificio. Consiste en una placa perfectamente taladrada y maquinada, montada entre dos bridas con un orificio concéntrico con la tubería en la que está instalada. El orificio en la placa puede estar biselado por la parte inferior. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

Se instalan las tomas de presión, una antes y otra después del orificio de la placa, y se conectan a un manómetro o transmisor de presión diferencial. La posición de las tomas es arbitraria, y el coeficiente del medidor depende de las posiciones de las tomas. (Perry & Green, 1997)

El fundamento del medidor de orificio es idéntico al del medidor venturi. La reducción de la sección transversal de la corriente en movimiento, al pasar a través del orificio, aumenta la carga de velocidad a

expensas de la carga de presión, y la reducción de presión entre las tomas se mide con un manómetro. La ecuación de Bernoulli proporciona las bases para correlacionar el aumento en la carga de velocidad con la disminución de la carga de presión. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

Tabla No. 1 Datos de las tomas de presión en el medidor de orificio

Tipo de toma	Distancia a la toma anterior desde la cara anterior del orificio	Distancia a la toma posterior desde la cara posterior del orificio
A la brida	1 pulgada	1 pulgada
De vena contracta	1 diámetro de tubería (interior)	0,3 a 0,8 diámetros de tubería, dependiendo de β
A la tubería	2 $\frac{1}{2}$ diámetros nominales de tubería	8 diámetros nominales de tubería

(McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

3. Mezclas de vapor/gas. Debido a que la torre de pared mojada opera con líquidos que pueden evaporarse al aire, se tiene que tomar en cuenta los siguientes términos en donde se relacionan la cantidad de vapor presente en cierta cantidad de gas, siendo el gas generalmente aire.

a. Mezclas de vapor-gas saturadas. Si un gas seco insoluble B se pone en contacto con suficiente líquido A, el líquido se evaporará en el gas hasta que finalmente, en el equilibrio, la presión parcial de A en la mezcla vapor-gas alcanza su valor de saturación, la presión de vapor p_A a la temperatura dominante. Mientras el gas pueda considerarse insoluble en el líquido, la presión parcial de vapor en la mezcla saturada será independiente de la naturaleza del gas y la presión total; sólo depende de la temperatura e identidad del líquido. (Sherwood, 1952)

$$Y'_S = \frac{p_A}{p_t - p_A} \frac{M_A}{M_B}$$

Ecuación No. 19

b. Temperatura de bulbo húmedo. La temperatura de bulbo húmedo es la temperatura en estado estacionario alcanzada por una pequeña cantidad de líquido que se evapora en una gran cantidad de una mezcla vapor-gas no saturada. En condiciones apropiadamente controladas, dicha temperatura puede utilizarse para medir la humedad de la mezcla. Con este propósito, un termómetro cuyo bulbo se ha cubierto con un material fibroso humedecido en el líquido, se sumerge en una corriente de la mezcla gaseosa, que se está moviendo rápidamente. La temperatura que indica este termómetro alcanzará finalmente un valor inferior a la temperatura de bulbo seco del gas, si este último no está saturado; sabiendo esto, la humedad se calcula una vez conocido ese valor. (Treybal, 1988)

La relación que se utiliza generalmente es la depresión de bulbo húmedo.

$$t_G - t_w = \frac{\lambda_w(Y'_w - Y')}{h_G/k_Y}$$

Ecuación No. 20

en donde

t_G = temperatura bulbo seco

t_w = temperatura bulbo húmedo

λ_w = calor latente vaporización a la temperatura bulbo húmedo

Y'_w = humedad a la temperatura bulbo húmedo

h_G/k_Y = relación psicrométrica

Existen valores de la relación psicrométrica dependiendo del líquido que se esté utilizando, a continuación se presentan algunos valores obtenidos en experimentaciones. (Sherwood, 1952)

Tabla No. 2 Relación psicrométrica para varios líquidos

Líquido	h_G/k_Y (kJ/kg K)
Agua	0.950
Etanol	1.602
2-Propanol	1.658
Metanol	1.372

(Sherwood, 1952)

4. Propiedades de los líquidos. Al operar la Torre de pared mojada, se pueden utilizar diferentes tipos de líquidos como el agua o solventes orgánicos. Para la selección del solvente orgánico a utilizar, se debe de tomar en cuenta los siguientes factores:

- Toxicidad
- Volatilidad
- Viscosidad
- Densidad
- Costo

En la sección de Anexos, se pueden encontrar las fichas de seguridad para los cuatro líquidos utilizados para las corridas experimentales en la torre de pared mojada.

5. Control y automatización. Una planta de procesos es un arreglo de unidades de procesamiento (reactores, intercambiadores de calor, columnas de destilación, absorbedores, evaporadores, tanques, etc.), integrados unos a otros de manera sistemática y racional. (Guadayol, 2010)

El objetivo global de una planta de proceso es convertir materias primas dentro de los productos deseados utilizando los recursos energéticos disponibles, de la manera más económica. Durante la operación una planta debe satisfacer varios requerimientos: seguridad, regulaciones ambientales, especificaciones de producción, restricciones operacionales, economía entre otras. (Guadayol, 2010)

Todos los requerimientos listados arriba tienen la necesidad de ser monitoreados continuamente y permitir el control externo para garantizar el cumplimiento de objetivos operacionales. (Guadayol, 2010)

Un sistema de control está llamado a satisfacer: anular las influencias de disturbios externos, asegurar la estabilidad del proceso y optimizar la operación del proceso. En un proceso se tendrá la variable manipulada que es modificada, para poder obtener una respuesta en la variable controlada. (Guadayol, 2010)

a. 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 que se encargará de mantener automáticamente la variable controlada en el valor deseado, que se llama setpoint, establecido previamente por el operador. (Guadayol, 2010)

b. Partes principales de un sistema automatizado. En un sistema automatizado se tienen básicamente tres grandes grupos. Se pueden dividir de la siguiente forma:

- Operativa
- Mando
- Accesorios eléctricos

Parte operativa

En la parte operativa se tienen los equipos, accesorios, sensores que intervienen en el proceso para tomar mediciones o modificar algo en el proceso. (Guadayol, 2010)

Los sensores son dispositivos que miden variables para luego transformar los valores en señales eléctricas que pueden ser cuantificadas. Estos son centralizados en los PLC. Generalmente tienen una salida de 4-20mA o una salida de voltaje de 1-5Vdc. Por el tipo de señal se les puede clasificar en analógicos o digitales. (Guadayol, 2010)

Entre algunos dispositivos de medición se pueden mencionar los sensores de temperatura RTD, que es un detector de temperatura resistivo, es decir un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Otro dispositivo de medición es el sensor de presión diferencial, estos realizan la medida de presión entre dos puntos, de tal forma que ha de contar con un diafragma el cual detecta la diferencia de presión que se está generando convirtiéndolo a una señal eléctrica para cuantificar el cambio. (Guadayol, 2010)

También se tienen motores y variadores de velocidad los cuales transforman energía eléctrica en energía mecánica, con el fin de realizar un trabajo. Teniendo una mayor productividad al poder variar la velocidad gracias al variador. (Guadayol, 2010)

Parte de mando

El PLC por sus siglas en inglés, significa Programable Logic Controller o controlador lógico programable, está diseñado para controlar procesos en tiempo real. En este dispositivo se manejan las señales de los sensores para dar una respuesta o señal hacia una válvula o un motor y controlar así el proceso. (Guadayol, 2010)

Parte de accesorios eléctricos

Para realizar el cableado e instalación de los componentes de automatización es necesario tener un panel de control, en donde se tienen todas las conexiones centralizadas en el PLC. Entre algunos elementos que conforman el panel se pueden mencionar las borneras, que son puntos de anclaje que permiten distribuir la energía gracias a los tornillos de fijación. (Guadayol, 2010)

Para anclar los accesorios, variador, PLC y otros elementos dentro del panel se utiliza el riel ding, que se coloca por medio de remaches dentro del panel. (Guadayol, 2010)

Para alimentar todos los elementos del panel con energía eléctrica se tiene la fuente de poder que es protegida por el breaker al momento de que se tenga un pico de corriente inesperado. (Guadayol, 2010)

III. ANTECEDENTES

La automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias dio inicio en el año 2007, con la primera fase automatizando la torre de absorción, en el año 2008, la segunda fase con la automatización de la torre de destilación, en el año 2009, la tercera fase con la automatización de la torre de enfriamiento, torre de extracción líquido-líquido y la planta de biodiesel, en el año 2010, la cuarta fase con la automatización del cuarto de sólidos y caldera. En los proyectos mencionados anteriormente, se llevó a cabo la instalación de instrumentos electrónicos, tales como sensores de temperatura, válvulas electrónicas, sensores de nivel, entre otros, y se crearon lazos de control para lograr una mejora notable en la obtención de resultados y control de las variables críticas en la operación de los equipos ya mencionados. Con estas mejoras se logró optimizar la operación de los equipos, obtener mejores resultados durante las prácticas y permitir que los usuarios utilizaran los equipos en forma manual como automática.

Continuando con los proyectos de automatización, se realizó la quinta fase de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. En esta fase se restauró y automatizó la torre de pared mojada.

La participación de estudiantes de diferentes carreras, a lo largo de las cinco fases de automatización, permitieron un trabajo multidisciplinario. Integrando estudiantes de Ingeniería Química, Ingeniería Industrial, Ingeniería Electrónica e Ingeniería en Ciencias de la Computación.

El Laboratorio de Operaciones Unitarias contaba con una torre de pared mojada, esta fue un trabajo de tesis realizada en el año 1997, por el Ingeniero Jorge Rafael Ramos. El trabajo consistió en el diseño y construcción de una torre de pared mojada, operando con cuatro líquidos (agua, metanol, etanol y 2-propanol) integrando a los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, uno para la determinación de coeficientes de transferencia de masa.

El equipo se encontraba en desuso ya que no contaba con las partes necesarias para su operación, siendo una pérdida para el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

IV. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, en Guatemala, se está logrando realizar muchos avances tecnológicos en los procesos industriales, las empresas con mayor éxito están migrando de procesos de mano de obra a procesos automatizados. Esta migración se debe a que la automatización optimiza la eficiencia de los procesos, minimizando los costos de operación y mantenimiento del sistema. El Laboratorio de Operaciones Unitarias, de la Universidad del Valle de Guatemala, cuenta ya con varios equipos automatizados de utilidad para que los estudiantes puedan estar preparados ante diversos procesos que se encuentran en la industria, por esto se decidió proceder a la Quinta Fase de Automatización del mismo, con la Torre de pared mojada.

El Laboratorio de Operaciones Unitarias contaba con una Torre de pared mojada que estaba en desuso. El equipo estaba incompleto por lo que no podía ser operado, hacía falta un motor para el ventilador que proporcionaba el flujo de aire, no contaba con instrumentos de medición para temperatura y caída de presión, no se tenían recipientes para colocar los líquidos a utilizar en las prácticas, estaba soportada en una estructura que ocupaba un área de 1.78 m² y no contaba con una escalera, por lo que se dificultaba la operación de la torre y se tenía un mayor riesgo de accidentes.

Es por esto que se decidió restaurar y automatizar la Torre de pared mojada, para poder realizar mediciones de temperatura, caída de presión, masa y flujo de aire con equipos electrónicos gobernados por un PLC. Permitiendo al usuario operar un equipo desde una PC, tanto en modo manual como automático para obtener, a través de corridas experimentales, coeficientes de transferencia de masa de cuatro líquidos (Agua, metanol, etanol y 2-propanol). De esta manera se logrará integrar un equipo para prácticas de transferencia de masa al Laboratorio de Operaciones Unitarias, permitiendo que se determinen coeficientes de transferencia de masa de diferentes líquidos hacia el aire.

La superficie de contacto por unidad de volumen que maneja la torre de pared mojada es pequeña, por lo que el equipo no resulta de importancia industrial, pero sí tiene un gran valor como equipo de aprendizaje. Por esto mismo, una torre de pared mojada no es fácil de encontrar a la venta, y es ahí en donde surge la motivación de gestionar y planificar este Megaproyecto. Conjuntamente se hará una comparación de costos entre las opciones siguientes: comprar el equipo a un proveedor, contratar a una empresa externa para que lo realice, y la realización con estudiantes. De esta manera se pretende obtener el ahorro monetario que significa para la Universidad del Valle de Guatemala la inversión en este Megaproyecto.

V. OBJETIVOS

A. General

- Automatizar la Torre de pared mojada del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, para ser utilizada en prácticas de transferencia de masa.

B. Específicos

- Construir una calendarización y planeación de reuniones para presentar avances del Megaproyecto.
- Diseñar, distribuir y cumplir las tareas de la manera más eficiente posible a lo largo de las fases del proyecto.
- Restaurar la torre de pared mojada con base al diseño del trabajo de Tesis: Montaje de una torre de paredes mojadas para realizar prácticas de transferencia de masa, minimizando el área a ocupar por la estructura.
- Seleccionar los sensores y controladores para la medición de temperatura, caída de presión, masa y flujo de aire durante la operación de la torre de pared mojada.
- Presentar alternativas financieras seleccionando la mejor opción para la realización del proyecto.
- Diseñar la interfaz gráfica para el programa de operación de la torre de pared mojada, que permita utilizar el equipo desde una PC y observar las variables a medir en el proceso.
- Elaborar un manual del equipo que incluya una descripción del mismo, requisitos para la operación, el modo de operación manual como automático y seguridad para el usuario al operarlo.
- Determinar los coeficientes de transferencia de masa para el agua, metanol, etanol y 2-propanol hacia el aire a partir de corridas experimentales midiendo temperaturas y masa.

VI. METODOLOGÍA

A. MÓDULO DE PLANEACIÓN Y GESTIÓN

Este Megaproyecto se desarrolló con un equipo conformado por estudiantes de Ingeniería Industrial, Química y Electrónica. Cada estudiante tuvo tareas específicas a desarrollar para cumplir con el objetivo general del proyecto, para llevarlo a cabo se necesitó planear y gestionar el diseño, distribuir y cumplir las tareas de una manera eficiente, establecer una lista de materiales y cotizar las mejores opciones, y darle seguimiento a todas las tareas a lo largo de los tres semestres en los que se llevó a cabo el Megaproyecto. Se realizaron reuniones semanales y/o conforme fueron necesarias según ameritó la fase del proyecto.

Las tareas de cada estudiante de ingeniería fueron desarrolladas de acuerdo a las siguientes funciones:

Tabla No. 3 Funciones de las ingenierías en el Megaproyecto

Ingeniería	Funciones
Industrial	<ul style="list-style-type: none">• Elaboración de cronograma de actividades• Diseño, distribución y cumplimiento de tareas en cada actividad• Procedimiento de compra de materiales y equipo• Evaluación de alternativa financiera• Seguimiento de planificación para presentar avances• Puesta en marcha
Química	<ul style="list-style-type: none">• Restauración de la torre• Selección de sensores y controladores para el proceso de operación• Implementación de interfaz de control amigable• Elaboración de un manual de operación del equipo• Determinación de coeficientes de transferencia de masa de diferentes líquidos al aire a partir de datos obtenidos• Puesta en marcha
Electrónica	<ul style="list-style-type: none">• Conexión de sensores y controladores• Armado de gabinete• Programación de interfaz• Exportación de datos del PLC a hoja de cálculo en Excel• Puesta en marcha

Las funciones de Ingeniería Industrial se llevaron a cabo en el módulo de planeación y gestión del Megaproyecto, el cual se desarrolló administrando de manera ordenada y eficiente el manejo de todos los recursos, entre ellos, el tiempo, las herramientas, los materiales, la mano de obra y la asesoría.

Este módulo se desarrolló en las siguientes fases:

1. Planificación. Se diseñó una calendarización para establecer actividades con tareas específicas de cada ingeniería y así cumplir con los tiempos estimados en la realización total del Megaproyecto. Primero se diseñó un cronograma general preliminar para determinar las tareas a realizar en cada semestre, como se puede observar en la Figura No. 36, apéndice A. Después, en base al cronograma general, se realizó un cronograma con las etapas de las actividades más significativas para el desarrollo del Megaproyecto, las cuales se dividieron en tareas y sub tareas dependiendo de los recursos necesarios para su realización, ver Figura No. 37, apéndice A. Cada tarea fue distribuida, según los requerimientos, y así se le fue dando seguimiento. Se analizaron constantemente las tareas críticas del cronograma para evitar retrasos y se dio seguimiento firme a la calendarización establecida con reuniones semanales.

2. Proceso de compra. Se realizó el proceso de compra de materiales y equipo para el Megaproyecto. Este proceso consistió, como se muestra en la Tabla No. 22, apéndice B, en establecer una lista del total de materiales y equipo a utilizar con sus respectivas especificaciones. Al tener la lista total revisada y aprobada por el asesor y los encargados del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala, se procedió a buscar proveedores especializados con relación a los materiales y equipo requeridos, los cuales fueron analizados en base a tiempos de entrega, costos y descuentos. Después se solicitaron las respectivas cotizaciones a diferentes proveedores para elegir la mejor opción y proceder a realizar las órdenes de compra. Paralelo al procedimiento de compra de los materiales y equipo, se solicitó una cotización, a una empresa especializada en instalaciones electromecánicas y automatización, por realizar el Megaproyecto y así tomarlo como referencia para hacer una comparación económica y demostrar el ahorro para la Universidad del Valle de Guatemala de realizar el proyecto con estudiantes. De la misma manera, se realizó una cotización a un proveedor especializado en equipos de laboratorio para comparar el costo del equipo por compra directa. Se llevó a cabo un estudio técnico del proyecto para proveer información y cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación pertinentes.

3. Seguimiento. Se dio seguimiento a cada tarea asignada para que se fuera cumpliendo en el tiempo establecido, priorizando en las actividades críticas y así evitar retrasos. En el proceso de compra, se revisó la lista de materiales y equipo en cuanto a sus especificaciones para confirmar las cotizaciones y al realizar las órdenes de compra se les dio seguimiento conforme a cada proveedor para que no se presentaran atrasos en la entrega. En cuanto alguna compra fue recibida se registró inventario para verificar que correspondieran las especificaciones de las órdenes de compra. Se realizaron reuniones presenciales semanales y/o conforme fuera necesario para revisar avances.

B. MÓDULO DE RESTAURACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN

1. Restauración de la torre de pared mojada.

- Estructura

La primera fase del proyecto que se realizó fue el diseño de la estructura para colocar la torre de pared mojada, debido a que la estructura era inestable y ocupaba mucho espacio. Los planos con las dimensiones se muestran en la sección de Apéndice H: Planos, en la Pág. No 153.

La estructura estaba hecha con tubos viejos de caldera, la plataforma para moverse arriba de la torre era de tabla de pino, no estaba anclada al suelo y no tenía una escalera para lograr subir a la parte superior de la torre, como se observa en la Figura No. 11, Pág. No.35. Al utilizar diferentes líquidos, se tenía un mayor riesgo por resbalamiento, debido a que las tablas de pino no permitían un buen drenaje si el líquido llegaba a derramarse.

La nueva estructura se construyó con tubos de perfil cuadrado de 0.0762m (3") y 0.0508m (2") de ancho, en la sección de Apéndice H: Planos, Pág. No 153, se muestran las dimensiones de la estructura y una proyección de la misma.

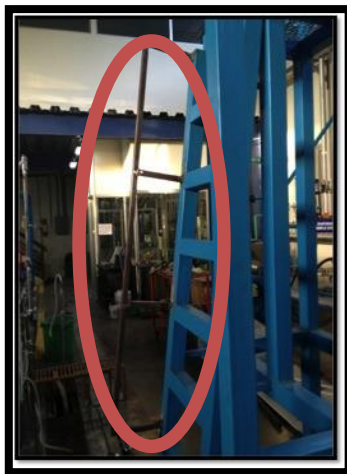
Para unir los tubos de perfil cuadrado se utilizó soldadura eléctrica, quedando una estructura firme y estable, con columnas de 2.40 metros de largo. Estas, se unieron con el marco que forma el área de trabajo en la parte superior de la torre, luego se colocó una malla metálica como suelo, uniéndola por medio de soldadura eléctrica. Se puede apreciar en la Figura No. 11.

Figura No. 11 Estructura de la torre de pared mojada con malla metálica



La escalera para subir a la parte superior de la torre se trabajó simultáneamente, para luego soldarla a las columnas y con el marco de la parte superior. Por seguridad del usuario, se colocó un pasa manos en la parte izquierda de la escalera y en el marco de la parte superior se colocó una baranda alrededor de toda el área, estas fueron realizadas con tubo de perfil cuadrado de 0.0254m (1") y 0.0381m (1.5") respectivamente.

Figura No. 12 Baranda colocada en escalera para subir a la estructura de la torre de pared mojada



Para soportar la sección de calma superior, de la torre de pared mojada, se utilizó la que se tenía de la estructura anterior con ciertas modificaciones. Fue necesario agregar una sección con hierro angular de 0.0254 m (1") de ancho y 0.65 m de largo, para soportar el peso que ejercía el tubo inoxidable junto con los sensores RTD fue necesario colocar un marco, realizado con hierro angular de 0.0254 m (1") de ancho, como se observa en la Figura No. 13

Figura No. 13 Soporte para la sección de calma superior



Se elaboraron dos plataformas, para colocar las balanzas y los recipientes que contenían los líquidos a utilizar durante cada corrida experimental, cortando una plancha metálica de 0.42 x 0.31 m.

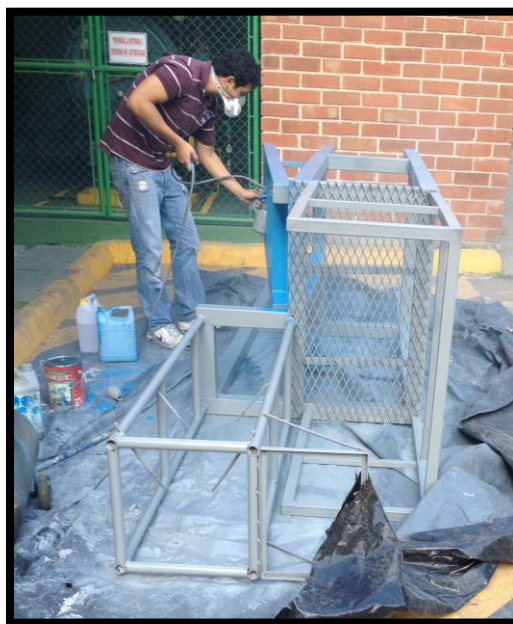
Finalmente se fijó la estructura al suelo por medio de zapatas realizadas con hierro angular de 0.0508m (2”), estas tenían un agujero para introducir los tornillos expansivos de 0.0095 m (3/8”) y su respectiva tuerca, como se puede apreciar en la Figura No. 14.

Figura No. 14 Zapatas para anclar estructura al suelo



Como protección de la oxidación del hierro negro, se agregó una capa de anticorrosivo de color gris y para dar un buen acabado se aplicó una capa de pintura de aceite azul, siguiendo el código de color del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Figura No. 15 Aplicación de anticorrosivo a la estructura



- Distribuidores de líquido

Anteriormente, los distribuidores estaban fabricados con un cilindro acrílico. Por el tipo de solventes utilizados, se fue opacando, siendo necesario cambiarlos por un cilindro de vidrio. Para realizarlo se utilizaron recipientes transparentes vacíos de reactivos químicos, de un volumen de 5 L, se cortaron el fondo y la parte superior del recipiente para así obtener el cilindro.

Figura No. 16 Distribuidor de líquido



Se utilizaron las tapaderas que tenían los distribuidores anteriores, pegándolas al cilindro de vidrio mediante un pegamento epóxico, logrando unirlos y al mismo tiempo formando un sello para evitar fugas.

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, como se aprecia en la Figura No. 17.

Figura No. 17 Distribuidor sección inferior torre



El distribuidor que se encuentra en la parte de calma superior cumple la función de permitir el paso del líquido hacía la sección mojada, esto se lleva a cabo por medio de inundación dentro del distribuidor.

Figura No. 18 Distribuidor de líquido en la parte superior



- Torre de pared mojada

El diseño anterior de la torre contaba con tubos PVC de 0.0254m(1") de diámetro en la sección de calma inferior y superior, la sección mojada contaba con un tubo de vidrio Pyrex de 0.0317m(1 1/4") de diámetro. Ya que era necesario colocar sensores de tipo RTD en las secciones de calma inferior y superior se decidió cambiar el tubo de PVC por tubo de acero inoxidable de 0.0254m (1") de diámetro. El tubo de vidrio Pyrex original se quebró por lo que se mandó a hacer de nuevo, tomando en cuenta que el tamaño estándar de los tubos de vidrio es de 1.20 m de largo, se unió con una sección de 0.60 m de largo. La unión se realizó por medio de un acople PVC de 0.0254m (1") de diámetro.

El diseño anterior de la torre contaba con 52 diámetros para la calma inferior, 58 diámetros para la sección mojada y 39 para la superior. Los diámetros se obtienen al dividir el largo de la sección entre el diámetro del tubo que esta tiene. Se tomaron los mismos valores para realizar la nueva torre de pared mojada.

Para el tubo de acero inoxidable se tiene un diámetro interno de 3.002×10^{-2} m y para el tubo de vidrio se tiene un diámetro interno de 3.120×10^{-2} m. Los largos en la sección de calma inferior se tiene 1.53 m y en la superior 1.30 m, el tubo de vidrio tiene un largo de 1.81 m. Con estas dimensiones es que se obtienen los diámetros anteriormente descritos.

Para fijar la torre a la estructura se utilizaron colgadores tipo hanger para tubo de 0.0254m (1"), se colocó uno en la sección de calma inferior, dos en la sección mojada y dos en la sección de calma superior. Para unirlos a la estructura se utilizó varilla roscada unicanal de 0.0095m (3/8"), esta varilla se fijó a una sección de riel unicanal que se soldó a la estructura. El riel unicanal tiene una tuerca unicanal con resorte de 0.0095m (3/8") logrando así fijar la varilla a la estructura, entre la varilla y el colgador se colocaron tuercas para ajustarla y apretarla.

- Instrumentación

En la torre de pared mojada es necesario medir diferentes variables como la presión en la torre, temperatura del líquido y gas en la parte superior e inferior y masa del líquido en la parte superior e inferior. A continuación se detallan los instrumentos utilizados en toda la torre:

Tabla No. 4 Instrumentos utilizados en la torre de pared mojada

Cantidad	Sensor	Descripción
2	RTD	Sensor de temperatura para el líquido que ingresa y sale de la torre
2	RTD	Sensor de temperatura para el aire que ingresa y sale de la torre
2	RTD	Sensor de temperatura de bulbo húmedo para el aire que ingresa y sale de la torre
2	Balanzas	Medición de la masa de líquido en tanque superior e inferior de la torre
1	Presión diferencial	Medición de la presión diferencial en la sección mojada de la torre
1	Presión diferencial	Medición de la presión diferencial en placa de orificio para entrada de aire a la torre

Los sensores RTD en la sección de calma inferior y superior se adaptaron como se observa en la Figura No. 19.

Figura No. 19 Sensores RTD sección calma inferior



Los sensores RTD para el líquido fueron instalados dentro de los recipientes como se observa en la Figura No. 20.

Figura No. 20 RTD en recipiente contenedor de líquidos



Los sensores de presión diferencial se instalaron sobre la estructura de la torre por medio de tornillos que estos traían, como se observa en la Figura No. 21. Las tomas de presión diferencial en la torre se colocaron como se observa en la Figura No. 22, en la Figura No. 23 se puede observar la conexión para la toma de presión diferencial en la placa de orificio.

Figura No. 21 Sensor presión diferencial en sección mojada



Figura No. 22 Conexión al proceso para caída de presión en sección mojada



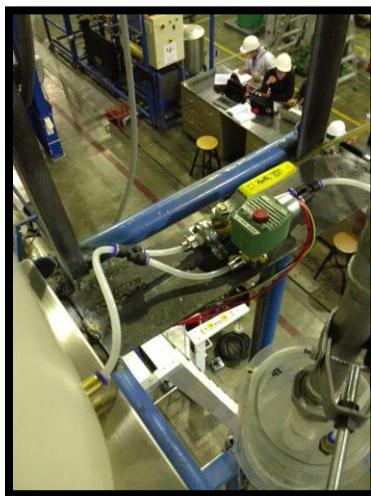
Figura No. 23 Conexión a proceso placa de orificio



- Sistema de líquido

Se utilizaron recipientes de 5 galones, fue necesario abrir un agujero en cada recipiente para colocar dentro el sensor de temperatura. Para adaptar los sensores se utilizó un reductor bushing de 0.0254m (1") a 0.0127m(½") con teflón y sellador epóxico para evitar fugas. La conexión entre el recipiente y el distribuidor se realizó como se observa en la Figura No. 24 , en donde se puede observar la conexión en donde se desvía hacía la válvula de bola o solenoide.

Figura No. 24 Sistema de líquido en la parte superior de la torre



- Sistema de aire

Para generar el flujo de aire se utilizó el ventilador del diseño anterior de la torre de pared mojada, el motor que se instaló es de 1 ½ hp con una velocidad de rotación de 1745 rpm. Se contaba con un juego de poleas tipo A instaladas en el eje del ventilador, seleccionando la polea de 0.0254m (1”) con una polea de 0.10m (4”) instalada en el eje del motor. Para variar el flujo de aire que ingresa a la torre, se instaló un variador que controla el motor del ventilador, también se tenía ya instalada una válvula de compuerta.

Para medir el flujo de aire que está ingresando a la torre se diseñó y se instaló una placa de orificio, obteniendo un valor para $\beta=0.5$. Esta cuenta con 2 tomas de caída de presión del tipo de tubería (2.5” aguas arriba y 8” aguas abajo). El ventilador se fijó al suelo por medio de tornillos de 0.0095m (3/8”).

Figura No. 25 Sistema de motor y ventilador



Figura No. 26 Válvula para ventilador y placa de orificio



2. Selección de sensores y controladores para la operación de la torre de pared mojada. Para seleccionar los sensores y controladores para operar la torre de pared mojada fue necesario determinar las variables a medir durante la operación de la misma. A continuación se presenta el listado:

- 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 descende 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 requiere para conectar el sensor al PLC y el tipo de conexión al proceso. Para definir los rangos de medición se tomó como referencia los valores obtenidos en la operación de la torre de pared mojada anterior.

A continuación se presenta un detalle de los rangos de operación para cada una de las variables, como se mencionó anteriormente los valores fueron tomados como referencia del trabajo de graduación: “Montaje de una torre de paredes mojadas para realizar prácticas de transferencia de masa”. (Ramos, 1997)

Tabla No. 5 Rangos de operación para cada variable a medir en torre de pared mojada

Variable a medir	Rango de operación
Masa líquido	15-20 kg
Caída de presión en la torre	49.8-249 Pa (0.2-1 " de agua)
Caída de presión placa orificio	49.8-1,121 Pa (0.2-4.5 " de agua)
Temperatura líquido	18-26 °C
Temperatura aire	15-29 °C
Temperatura bulbo húmedo	15-29 °C

Con base 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 siguiente tabla se presentan los sensores seleccionados para cada una de las variables a medir en la torre.

Tabla No. 6 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	0-1,495 Pa (0-6 " de H ₂ O)
Flujo de aire	Sensor de presión diferencial	0-1,495 Pa (0-6 " de H ₂ O)
Temperatura líquido	RTD	0-260 °C
Temperatura líquido	RTD	0-260 °C
Temperatura aire	RTD	0-260 °C
Temperatura bulbo húmedo	RTD	0-260 °C
Temperatura aire	RTD	0-260 °C
Temperatura bulbo húmedo	RTD	0-260 °C

Las dos variables que son necesarias controlar son el flujo de líquido que va hacia la torre y el flujo de aire que está ingresando en la torre, a continuación se presenta los elementos finales de control seleccionados.

Tabla No. 7 Elementos finales de control seleccionados para variables en la torre de pared mojada

Variable a controlar	Elemento final de control
Líquido que ingresa a la torre	Válvula solenoide
Flujo de aire	Variador de frecuencia

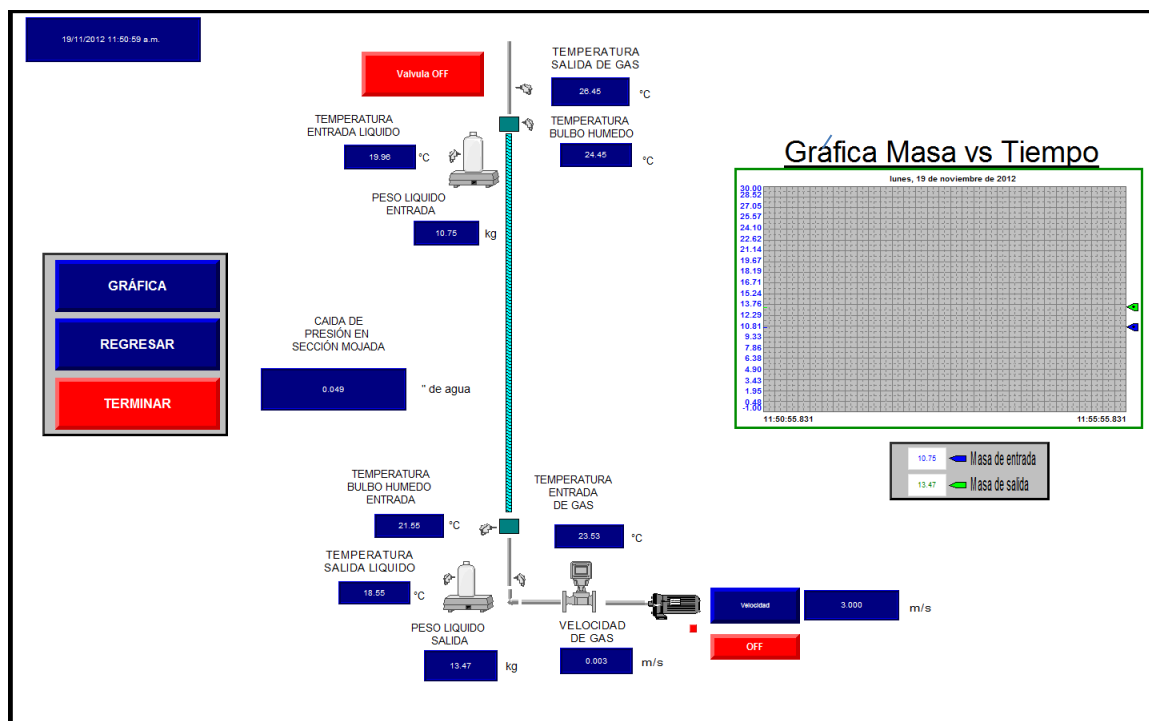
Selección del PLC

Teniendo definidos los sensores se procedió a seleccionar el PLC y los módulos extras para poder conectar la señal proveniente de todos los sensores. El PLC seleccionado fue marca Micrologix modelo 1100 y los módulos extras son dos módulos para señal RTD y un módulo para señal analógica marca Rockwell.

Para saber la ubicación en la que se colocaron los sensores se realizó un plano P&ID como se muestra en Apéndice H: Planos, Pág. No. 153

3. Implementar una interfaz de control amigable al estudiante. Teniendo los sensores ya seleccionados es posible realizar y programar las pantallas que el estudiante va a utilizar al momento de operar la torre. A continuación se presenta una de las pantallas realizadas para la operación de la torre de pared mojada.

Figura No. 27 Pantalla de inicio en programa de operación para la torre de pared mojada



Las demás pantallas se pueden observar en la sección de Apéndice J: Pantallas HMI programa de operación, Pág. No. 183.

4. Elaborar un manual de operación del equipo. Para poder operar de una forma adecuada la torre de pared mojada se realizó un Manual de Operación del Equipo. Este describe a detalle la operación de la torre ya sea en modo manual o en modo automático, ver en la sección de Apéndice I: Manual de usuario, Pág. No. 156.

5. Determinar los coeficientes de transferencia de masa de diferentes líquidos al aire a partir de los datos obtenidos. Se determinó los coeficientes de transferencia de masa para los siguientes líquidos:

- Metanol
- Etanol
- 2-propanol
- Agua

El procedimiento fue el siguiente:

- Se llenó el recipiente superior con el líquido a utilizar
- Se humedeció con el líquido a utilizar los termómetros de bulbo húmedo
- Se tomó el valor de la temperatura del líquido
- Se registró el peso inicial del líquido
- Se abrió la válvula solenoide para permitir el paso del líquido hacía la torre
- Se esperó que se formara la película de líquido en la sección mojada (tubo de vidrio)
- Se encendió el ventilador y se colocó flujo deseado
- Se tomaron las mediciones de temperatura, masa y presión en la parte superior e inferior de la torre.
- Se varió la velocidad del ventilador para obtener diferentes coeficientes de transferencia de masa

Los cálculos realizados pueden encontrarse en la sección Apéndice F: Cálculo de muestra

VII. RESULTADOS

A. MÓDULO DE PLANEACIÓN Y GESTIÓN

- Se gestionó el Megaproyecto de automatización de la torre de pared mojada del Laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala de acuerdo a las fases de planeación, proceso de compras y seguimiento.
- El diseño quedó concluido según calendarización, distribución de tareas y planeación.
- No se cumplió con el tiempo optimista de pruebas y puesta en marcha según calendarización y planeación.

Tabla No. 8 Inversión detallada en el Megaproyecto por la Universidad del Valle de Guatemala

Cantidad	Descripción	Precio unitario (dólares)	Precio total (dólares)	Precio unitario (quetzales)	Precio total (quetzales)
25	prensa estopas con tuerca			Q 21.98	Q 549.50
10	Abrazadera tipo clevis			Q 7.03	Q 70.30
10	clip tipo hanger			Q 1.55	Q 15.50
10	Cable TSJ 4 alambres calibre 12			Q 16.89	Q 168.90
5	canaleta eléctrica plástica ranurada			Q 115.67	Q 578.35
20	cable 14 AWG color blanco			Q 1.93	Q 38.60
20	cable 14 AWG color verde			Q 1.93	Q 38.60
14	Tubo LT flexible 3/4"			Q 6.04	Q 84.56
30	Abrazaderas Omega de 3/4"			Q 0.57	Q 17.10
100	Abrazaderas Omega			Q 0.48	Q 48.00
3	varilla roscada unicanal de 3/8"			Q 9.75	Q 29.25
4	tubo conduit de 3/4" X 3MT			Q 60.20	Q 240.80
15	condulet T de 3/4" con tapadera			Q 18.76	Q 281.40
1	Riel Unicanal P-1000 perforado			Q 163.33	Q 163.33
3	conectores BX recto con abrazadera			Q 1.61	Q 4.83

Continuación Tabla 8

Cantidad	Descripción	Precio unitario (dólares)	Precio total (dólares)	Precio unitario (quetzales)	Precio total (quetzales)
10	tuerca unicanal con resorte de 3/8"			Q 7.6	Q 76.20
20	cable 14 AWG color negro			Q 1.93	Q 38.60
1	buje qd para polea			Q 175.00	Q 175.00
1	polea Diámetro de 10cm (4") tipo A			Q 329.00	Q 329.00
2	recipientes Carboy de polietileno			Q 1,720.15	Q 3,440.30
100	cable beldem 9533			Q 3.95	Q 395.00
1	PLC ML1100			Q 2,051.20	Q 2,051.20
100	cable 18 AWG color azul			Q 2.61	Q 261.00
100	cable 18 AWG color rojo			Q 2.61	Q 261.00
2	Módulos RTD			Q 1,597.00	Q 3,194.00
1	Switch Ethernet			Q 2,641.95	Q 2,641.95
1	Contactador			Q 270.75	Q 270.75
1	variador de frecuencia			Q 1,575.85	Q 1,575.85
5	Contactos NC			Q 27.98	Q 139.90
8	Contactos NO			Q 27.98	Q 223.84
9	base			Q 12.31	Q 110.79
50	borneras			Q 3.68	Q 184.00
20	topes			Q 5.36	Q 107.20
5	bornera de tierra			Q 17.95	Q 89.75
1	breaker			Q 90.86	Q 90.86
10	jumper			Q 11.32	Q 113.20
10	tapadera doble piso			Q 3.09	Q 30.90
1	módulos análogos			Q 1,114.10	Q 1,114.10
10	tapadera para tierra			Q 2.15	Q 21.50
20	tapadera			Q 2.00	Q 40.00
1	Gabinete			Q 1,485.00	Q 1,485.00
1	Fuente de Poder			Q 1,099.33	Q 1,099.33
2	breaker			Q 90.86	Q 181.72
50	borneras doble piso			Q 27.57	Q 1,378.50
10	riel DIN			Q 26.25	Q 262.50

Continuación Tabla 8

Cantidad	Descripción	Precio unitario (dólares)	Precio total (dólares)	Precio unitario (quetzales)	Precio total (quetzales)
2	push botón verde			Q 21.05	Q 42.10
2	push botón rojo			Q 27.98	Q 55.96
2	luces piloto verde			Q 13.63	Q 27.26
2	luces piloto rojo			Q 13.63	Q 27.26
2	base con led roja			Q 93.12	Q 186.24
2	base con led verde			Q 93.12	Q 186.24
4	selector			Q 30.66	Q 122.64
1	botón de emergencia			Q 95.00	Q 95.00
4	machón doble			Q 32.04	Q 128.16
8	unión universal roscada			Q 121.07	Q 968.56
12	Tubo de acero inoxidable			Q 107.55	Q 1,290.60
1	codos roscado 90 grados			Q 44.52	Q 44.52
2	abrazaderas de manguera 1"			Q 8.00	Q 16.00
2	abrazaderas de manguera 1.5"			Q 9.00	Q 18.00
0.5	manguera corrugada 1"			Q 30.00	Q 15.00
2	manguera transparente PVC 1/4"			Q 14.00	Q 28.00
2	manguera de hule 1/8"			Q 28.00	Q 56.00
1	faja A 42			Q 34.20	Q 34.20
4	plancha Plexiglás 1/20" 9X12			Q 21.00	Q 84.00
2	reducidor campana de 1" a 1/2"			Q 11.00	Q 22.00
2	Sensor de presión diferencial de gas			Q 3,289.00	Q 6,578.00
1	Válvula 1/8" NPT Solenoides			Q 1,602.00	Q 1,602.00
6	RTD sensor de temperatura 3 hilos			Q 1,555.00	Q 9,330.00
2	Plataforma de pesaje	\$ 425.00	\$ 850.00		Q 6,630.00
2	Indicador para montaje en carril DIN	\$ 600.00	\$ 1,200.00		Q 9,360.00
50	Cable plataforma- indicador EL-146	\$ 3.00	\$ 150.00		Q 1,170.00
1	Placa de Orificio			Q 650.00	Q 650.00

Continuación Tabla 8

Cantidad	Descripción	Precio unitario (dólares)	Precio total (dólares)	Precio unitario (quetzales)	Precio total (quetzales)
4	Tubo perfil cuadrado 3"			Q 248.40	Q 993.60
2	Tubo perfil cuadrado 2"			Q 174.60	Q 349.20
1	Tubo perfil cuadrado 1"			Q 86.77	Q 87.77
					Q 63,909.27

Tabla No. 9 Comparación de costos según alternativas para la realización del Megaproyecto

Alternativa		
Estudiantes	Empresa externa	Compra directa
Q 63,909.27	Q 111,346.50	Q 374,549.60

B. MÓDULO DE RESTAURACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN

1) Restauración de la torre de pared mojada

Tabla No. 10 Resultados obtenidos para las 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
Mojada	Vidrio	3.526	3.120	1.81	58

Tabla No. 11 Resultados obtenidos para las dimensiones de la estructura de la torre de pared mojada

Dimensión	Medida
Largo de base	1 m
Ancho de base	1 m
Altura total	4.65 m
Área de sección (base)	1 m ²

Tabla No. 12 Resultados de costos para la restauración de la torre de pared mojada

Cantidad	Unidad de venta	Descripción	Precio unitario	Total
1		buje qd para polea	Q175.00	Q175.00
1		polea Diámetro de 0.1m(4'') tipo A	Q329.00	Q329.00
2		recipientes Carboy de polietileno capacidad 5 galones	Q1,720.15	Q3,440.30
8		unión universal roscada ss316l 0.0254m(1")	Q121.07	Q968.56
12	metros	Tubo de acero inoxidable 316 SST cedula 40 0.0254m (1")	Q107.55	Q1,290.60
1		codos roscado 90 grados para tubo 0.0254m(1")	Q44.52	Q44.52
2		ABRAZADERAS DE MANGUERA 0.0254m(1")	Q8.00	Q16.00
2		ABRAZADERAS DE MANGUERAS 0.0381m(1.5")	Q9.00	Q18.00
0.5	metros	MANGUERA CORRUGADA 0.0254m(1")	Q30.00	Q15.00
2	metros	MANGUERA TRANSPARENTE PVC 0.0063m(1/4")	Q14.00	Q28.00
2	metros	MANGUERA DE HULE 0.0032m(1/8")	Q28.00	Q56.00
1		faja A 42	Q34.20	Q34.20
2		reducidor campana de 0.0254m(1") a 0.0127m(1/2")	Q11.00	Q22.00
1		Placa de Orificio	Q650.00	Q650.00
1		pegamengo epoxi	Q50.00	Q50.00
2		cortes frascos de vidrio	Q40.00	Q80.00
2		uniones reductoras neumaticas de 0.0063m(1/4") x 0.0063m(1/4") NPT	Q23.30	Q46.60
2		uniones reductoras neumaticas de 6mm x 0.0032m(1/8") NPT	Q21.17	Q42.34
2		niple corrida 0.0254m(1")	Q4.00	Q8.00
5		niple hg 0.0254mx0.0508m(1x2")	Q5.00	Q25.00
2		tapon macho HG 0.0254m(1")	Q5.00	Q10.00
1		set de empaques	Q29.99	Q29.99
4		uniones reductoras neumaticas de 0.0079m(5/16") x 0.0063m(1/4") NPT	Q26.66	Q106.64
1		Riel Unicanal P-1000 perforado 3 m de largo	Q163.33	Q163.33
10		tuerca acero 0.0095m(3/8")	Q0.50	Q5.00
3	metros	varilla roscada unicanal de 0.0095m(3/8")	Q9.75	Q29.25
10		tuerca unicanal con resorte de 0.0095m(3/8")	Q7.62	Q76.20
1		valvula de bola en bronce de 0.0063m(1/4") NPT	Q159.04	Q159.04
9	pies	Manguera 0.0063m(1/4") polyetileno	Q3.00	Q27.00
3		conectores en Y 0.0063m(1/4")	Q8.00	Q24.00
1		union T	Q10.00	Q10.00
4	metros	6 metros tubo perfil cuadrado 0.0762m(3")	Q248.40	Q993.60
2	metros	6 metros tubo perfil cuadrado 0.0508m(2")	Q174.60	Q349.20
1	metros	6 metros tubo perfil cuadrado 0.0254m(1")	Q86.77	Q86.77
				Q9,409.14

Nota: El costo detallado anteriormente contempla únicamente la restauración mecánica de la torre, el costo total del proyecto fue de Q64,971.93.

2) Selección de sensores y controladores para la operación del equipo

Tabla No. 13 Resultados obtenidos en la selección de sensores para la operación de la torre de pared mojada

Variable a medir	Tipo de sensor	Marca	Descripción	Señal	Rango de operación
Masa líquido entrando	Balanza	Mettler Toledo	Medición de la masa de líquido en tanque superior de la torre	4-20mA	0-35 kg
Masa líquido saliendo	Balanza	Mettler Toledo	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	Medición de la presión diferencial en la sección mojada de la torre	4-20mA	49.8-249 Pa (0-6 " de H ₂ O)
Flujo de aire	Sensor de presión diferencial	Dwyer	Medición de la presión diferencial en placa de orificio en entrada de aire a la torre	4-20mA	49.8-249 Pa (0-6 " de H ₂ O)
Temperatura líquido	RTD	Instrucon	Sensor de temperatura para el líquido que ingresa a la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura líquido	RTD	Instrucon	Sensor de temperatura para el líquido que sale de la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura aire	RTD	Instrucon	Sensor de temperatura para el aire que ingresa a la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura bulbo húmedo	RTD	Instrucon	Sensor de temperatura de bulbo húmedo para el aire que ingresa a la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura aire	RTD	Instrucon	Sensor de temperatura para el aire que sale de la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C
Temperatura bulbo húmedo	RTD	Instrucon	Sensor de temperatura de bulbo húmedo para el aire que sale de la torre	0-100 Ohmios	0-260 °C

Tabla No. 14 Resultados obtenidos en la selección de elementos finales de control en la operación de la torre de pared mojada

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

Tabla No. 15 Resultados obtenidos en las señales requeridas para cada uno de los sensores y elementos de control seleccionados

Variable	Señal	Rango de operación	I/A	O/A	I/D	O/D	RTD	Modbus
Masa líquido entrando	4-20mA	0-35 kg	1	0	0	0	0	0
Masa líquido saliendo	4-20mA	0-35 kg	1	0	0	0	0	0
Caída de presión en la torre	4-20mA	0-6 " de H2O	1	0	0	0	0	0
Flujo de aire	4-20mA	0-6 " de H2O	1	0	0	0	0	0
Temperatura líquido	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1	0
Temperatura líquido	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1	0
Temperatura aire	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1	0
Temperatura bulbo húmedo	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1	0
Temperatura aire	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1	0
Temperatura bulbo húmedo	RTD	0-260 °C	0	0	0	0	1	0
Flujo de líquido	24 VDC	-	0	0	0	1	0	0
Variador de frecuencia	Hz	0-60 Hz	0	0	0	0	0	1
		Total	4	0	0	1	6	1

Tabla No. 16 Resultados obtenidos en la selección del controlador lógico programable (PLC) a utilizar

Controlador	I/A	O/A	I/D	O/D	RTD
Micrologix 1100	2	0	10	6	0

Tabla No. 17 Resultados obtenidos en la selección de módulos de expansión requeridos para complementar el controlador lógico programable

Cantidad	Módulo	Descripción
1	Analógico	Módulo de expansión que cuenta con 4 canales para conectar sensores con señal analógica
2	RTD	Módulo de expansión que cuenta con 4 canales para conectar sensores con señal RTD

3) Diseño de la interfaz gráfica para el programa de operación del equipo

Figura No. 28 Pantalla de modo manual del programa de operación de la torre

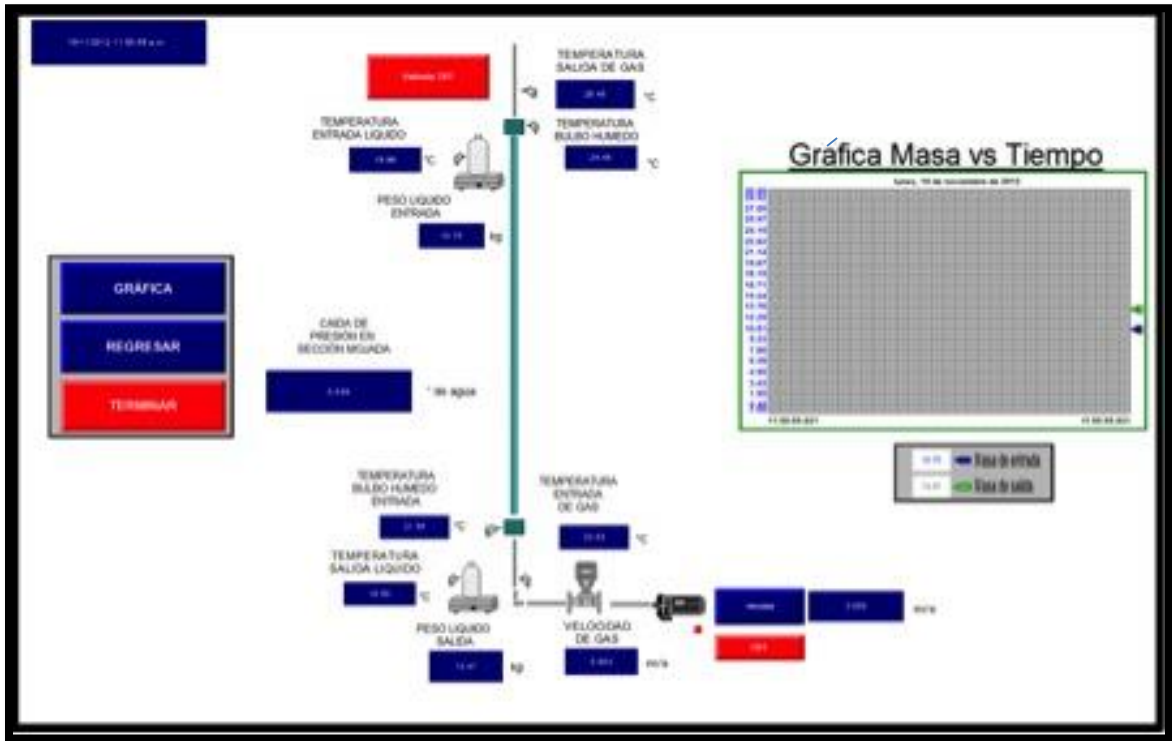
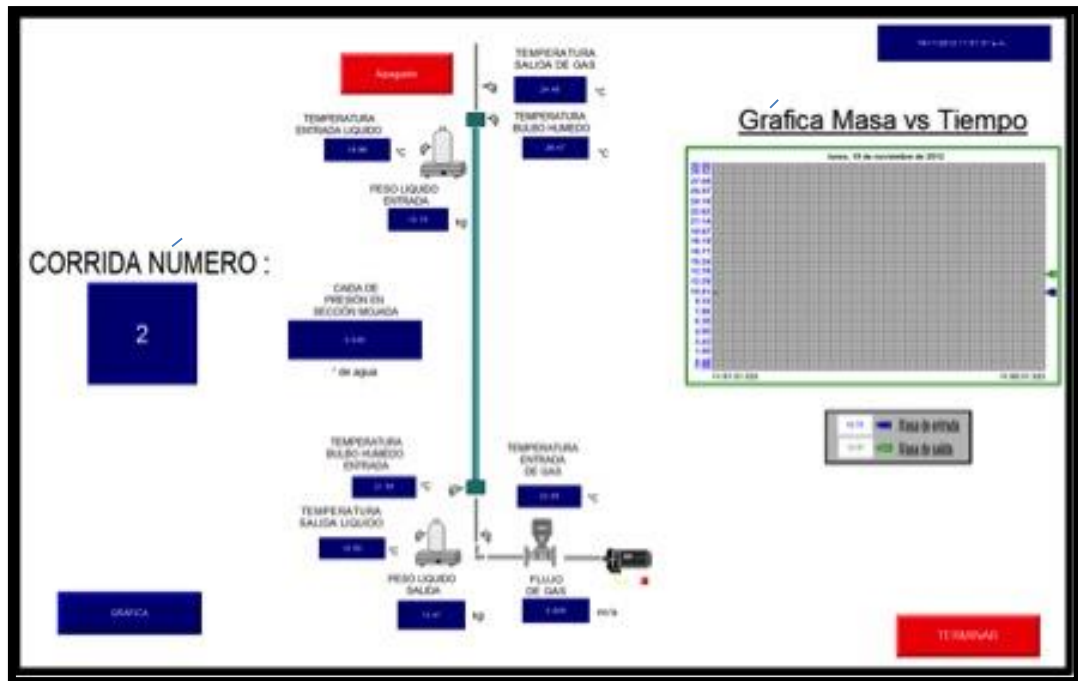


Figura No. 29 Pantalla de modo automático del programa de operación de la torre



Nota: Se diseñaron 5 pantallas HMI, pueden observarse en Apéndice J: Pantallas HMI programa de operación, Pág. No. 183.

4) Elaboración de un manual de operación del equipo. Se elaboró un manual

de operación que contiene las siguientes secciones:

- Descripción del equipo
- Operación en modo manual
 - En donde el usuario es capaz de definir la velocidad a la que opera la torre
- Operación en modo automático
 - En donde se definieron cuatro velocidades, 3.5, 4.5, 5.5 y 6.5 m/s
- Medidas de seguridad

Nota: El manual puede observarse en Apéndice I: Manual de usuario, Pág. No. 156.

5) Determinación de los coeficientes de transferencia de masa

Gráfica No. 1 Coeficientes locales de transferencia de masa para líquidos hacia el aire

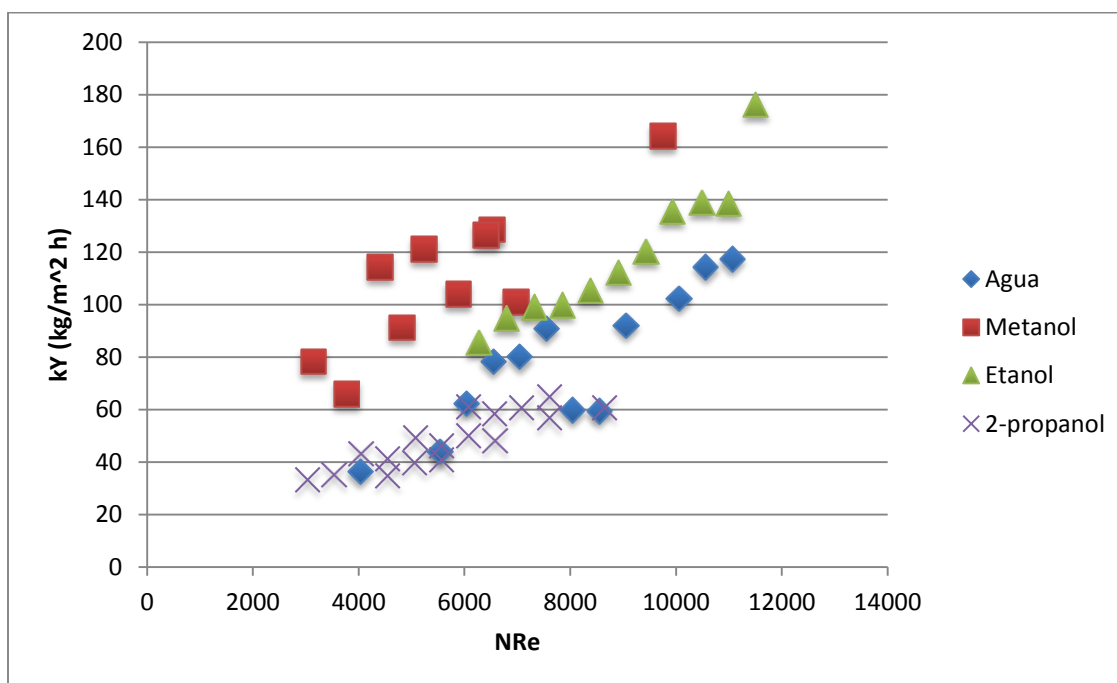


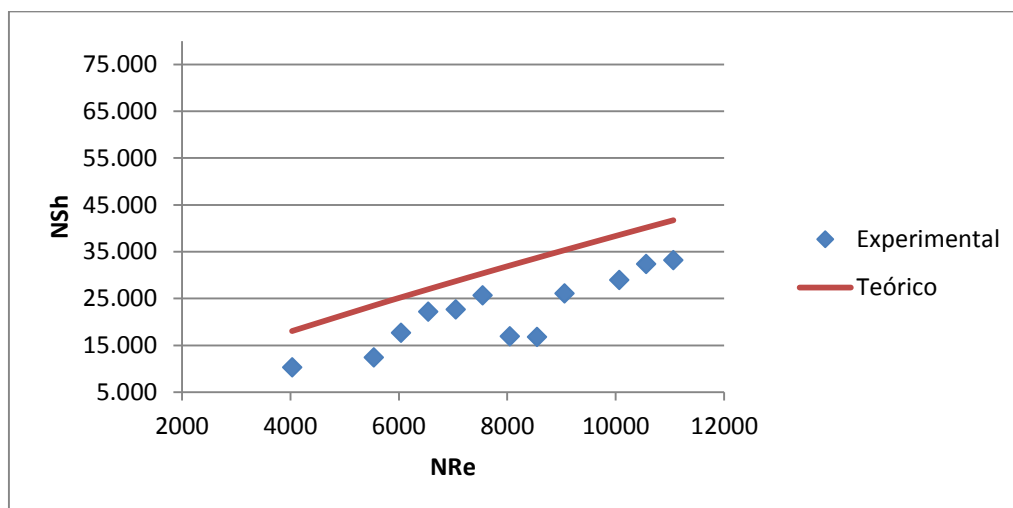
Tabla No. 18 Comparación de coeficiente de transferencia de masa obtenido con diferencia de pesos y diferencia de humedades

Líquido	Coefficiente de transferencia de masa a partir de diferencia de pesos (kg/m² h)	Coefficiente de transferencia de masa promedio a partir de diferencia de humedades (kg/m² h)	Porcentaje de diferencia
Agua	81.09	78.15	3.8 %
Metanol	111.18	109.49	1.5%
Etanol	120.33	118.79	1.3%
2-propanol	49.13	48.56	1.2%

Tabla No. 19 Ecuaciones experimentales que correlacionan los valores obtenidos en la desorción de líquidos puros al aire

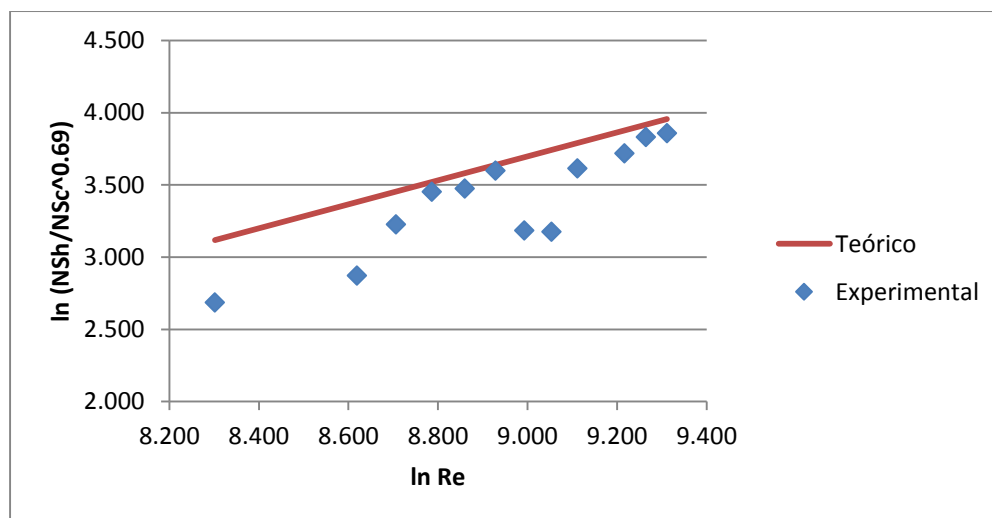
Líquido	Ecuación
Agua	$N_{Sh} = 0.028N_{Re}^{0.79}N_{Sc}^{0.69}$
Metanol	$N_{Sh} = 0.026N_{Re}^{0.80}N_{Sc}^{0.72}$
Etanol	$N_{Sh} = 0.025N_{Re}^{0.80}N_{Sc}^{0.67}$
2-propanol	$N_{Sh} = 0.021N_{Re}^{0.81}N_{Sc}^{0.75}$

Gráfica No. 2 Comparación entre ecuación experimental y teórica para agua



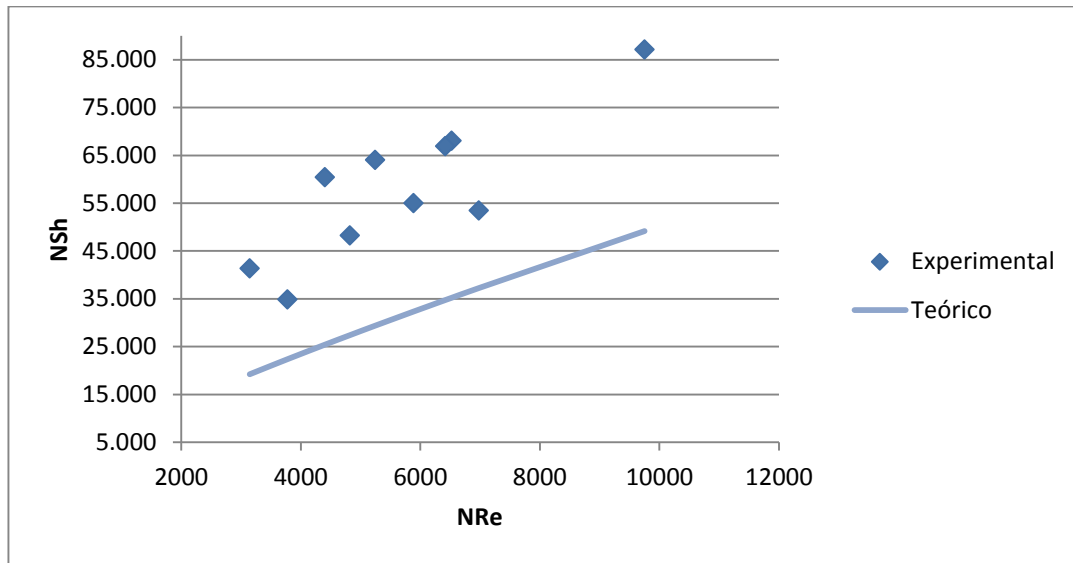
Nota: Los datos teóricos se obtienen a partir de la ecuación $N_{Sh} = 0.023N_{Re}^{0.83}N_{Sc}^{0.44}$

Gráfica No. 3 Correlación entre datos experimentales para corridas con agua



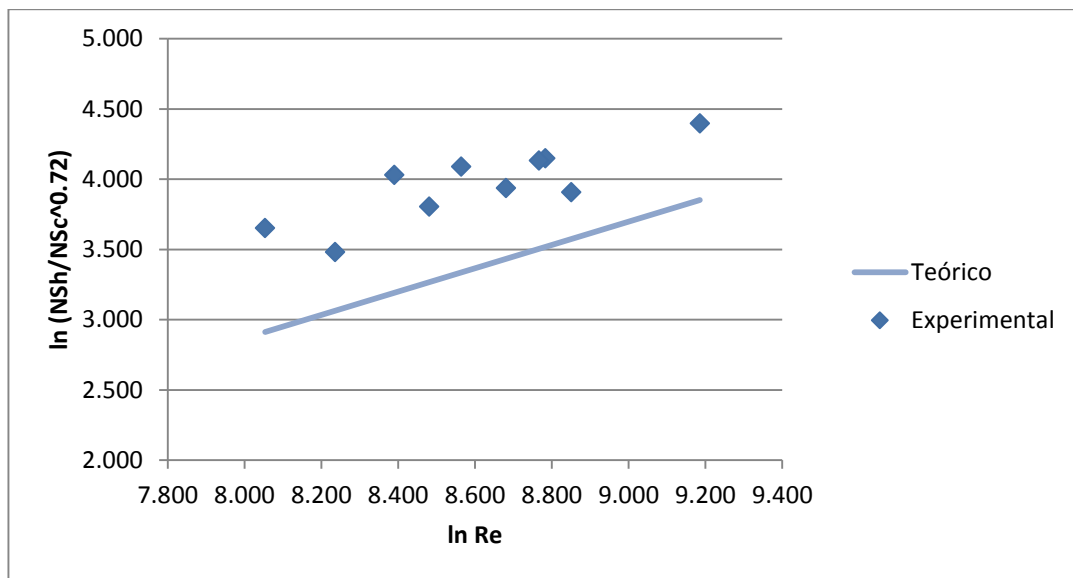
Nota: Los datos teóricos se obtienen a partir de la ecuación $N_{Sh} = 0.023N_{Re}^{0.83}N_{Sc}^{0.44}$

Gráfica No. 4 Comparación entre ecuación experimental y teórica para metanol



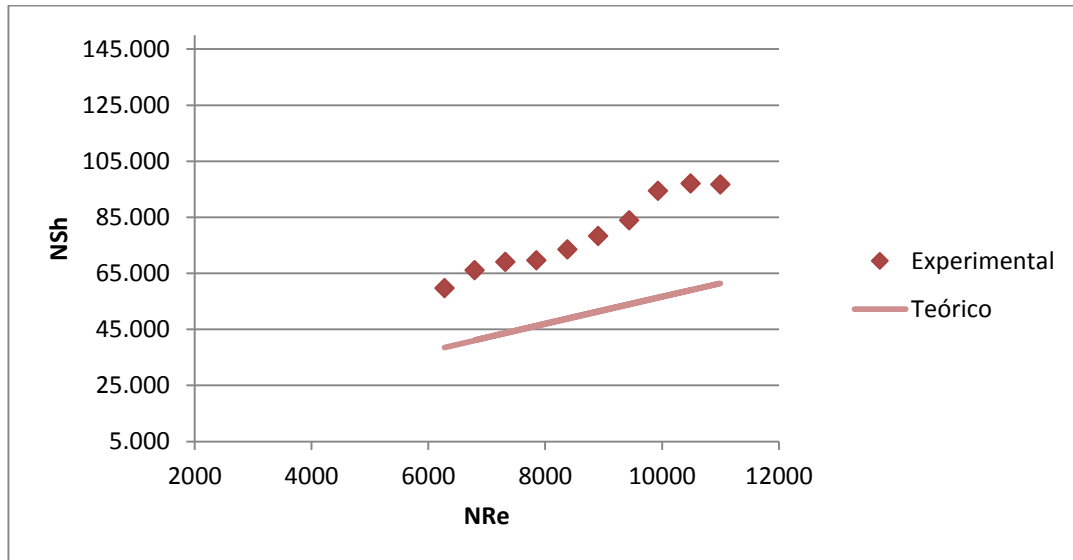
Nota: Los datos teóricos se obtienen a partir de la ecuación $N_{Sh} = 0.023N_{Re}^{0.83}N_{Sc}^{0.44}$

Gráfica No. 5 Correlación entre datos experimentales para corridas con metanol



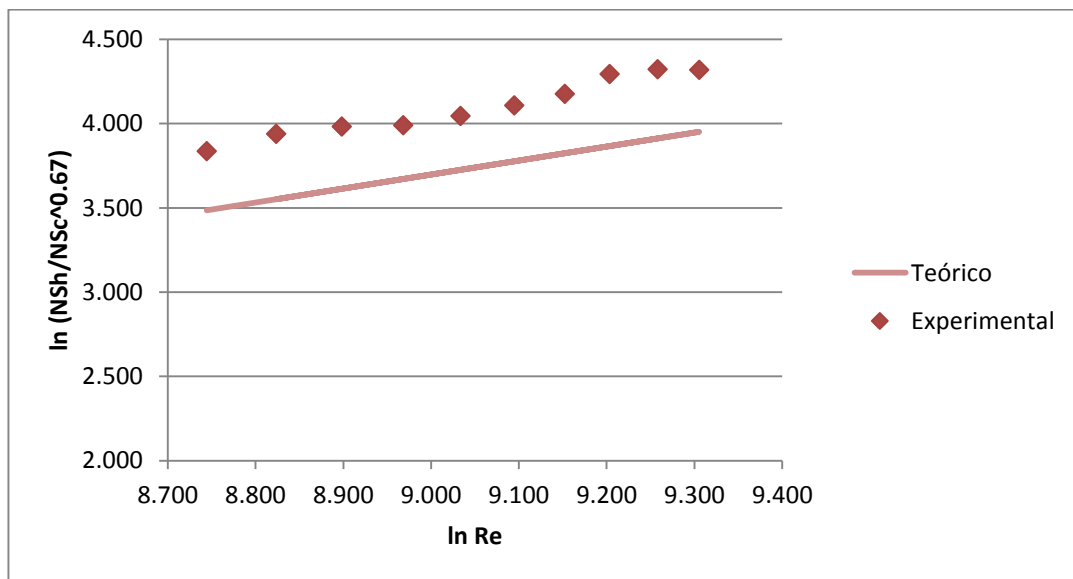
Nota: Los datos teóricos se obtienen a partir de la ecuación $N_{Sh} = 0.023N_{Re}^{0.83}N_{Sc}^{0.44}$

Gráfica No. 6 Comparación entre ecuación experimental y teórica para etanol



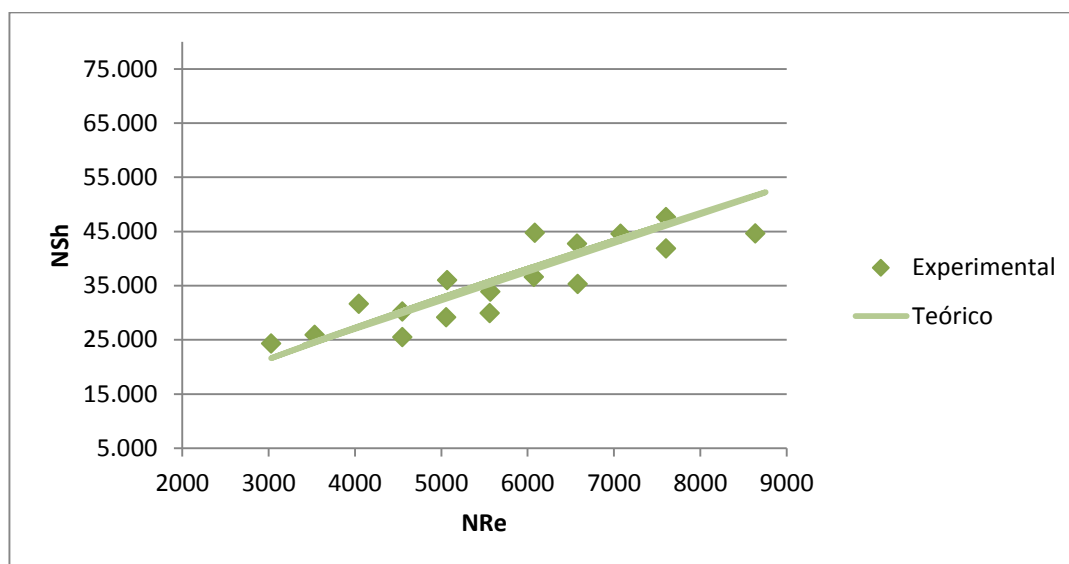
Nota: Los datos teóricos se obtienen a partir de la ecuación $N_{Sh} = 0.023N_{Re}^{0.83}N_{Sc}^{0.44}$

Gráfica No. 7 Correlación entre datos experimentales para corridas con etanol



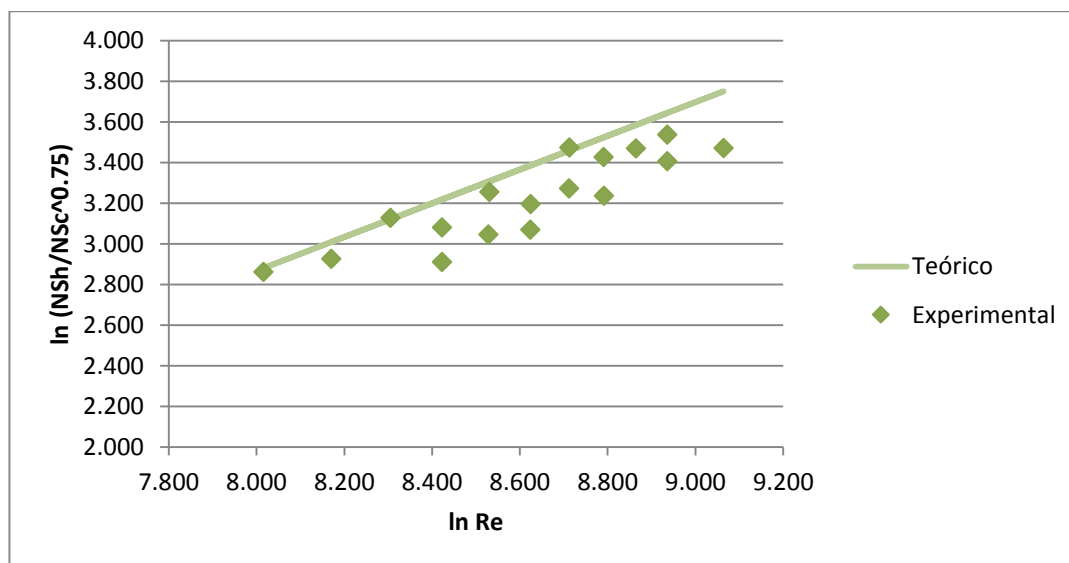
Nota: Los datos teóricos se obtienen a partir de la ecuación $N_{Sh} = 0.023N_{Re}^{0.83}N_{Sc}^{0.44}$

Gráfica No. 8 Correlación entre ecuación experimental y teórica para 2-propanol



Nota: Los datos teóricos se obtienen a partir de la ecuación $N_{Sh} = 0.023N_{Re}^{0.83}N_{Sc}^{0.44}$

Gráfica No. 9 Correlación entre datos experimentales para corridas con 2-propanol



Nota: Los datos teóricos se obtienen a partir de la ecuación $N_{Sh} = 0.023N_{Re}^{0.83}N_{Sc}^{0.44}$

Tabla No. 20 Coeficiente de correlación lineal para los datos obtenidos en las corridas con diferentes líquidos

Líquido	Correlación	Coefficiente de correlación
Agua	$\ln(NSh/NSc^{0.69})$ vs. $\ln Re$	0.871
Metanol	$\ln(NSh/NSc^{0.72})$ vs. $\ln Re$	0.829
Etanol	$\ln(NSh/NSc^{0.67})$ vs. $\ln Re$	0.959
2-propanol	$\ln(NSh/NSc^{0.75})$ vs. $\ln Re$	0.882

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. MÓDULO DE PLANEACIÓN Y GESTIÓN

Se gestionó el Megaproyecto de automatización, de la torre de pared mojada del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, de acuerdo a las fases de planeación, proceso de compras y seguimiento. Estas fases fueron las que hicieron posible la realización de los objetivos del proyecto por lo que serán descritas a continuación.

1. Planeación. Para planificar el Megaproyecto se diseñó una calendarización que comprendiera tres semestres, establecidos por la Universidad del Valle de Guatemala, los cuales fueron de julio del 2011 hasta noviembre de 2012, para la elaboración y finalización del proyecto.

a. Calendarización. Se diseñó un cronograma general preliminar, ver Figura No. 36, que abarca todas las etapas necesarias para llevar a cabo los objetivos generales del Megaproyecto, a lo largo de los tres semestres contemplados, y luego en base a ese cronograma, se diseñó uno más extenso, ver Figura No. 37, con tareas y sub tareas específicas según la ingeniería de cada estudiante del equipo.

1) Diseño preliminar. En la calendarización se realizó un diseño preliminar de la automatización, el cual definió tres áreas principales para desarrollar, descritas a continuación.

- Mecánico estructural

Se elaboró un diseño que comprendió la reconstrucción de la estructura de la torre de pared mojada, con la implementación de escaleras, ya que anteriormente no la torre no las poseía. Este diseño fue el primero en realizarse ya que realmente es la base física de los demás diseños del proyecto. En el Plano No. 1 se observa el diseño realizado por los estudiantes del equipo, los cuales fueron revisados y aprobados por el asesor del Megaproyecto y el jefe del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

- Proceso de operación

Se hizo el diseño preliminar que maneja el proceso de operación de la torre de pared mojada, y establece el funcionamiento de la misma, en cuanto a la parte automática y la parte manual. Este diseño resulta importante para establecer las necesidades de materiales y equipo, paralelo al diseño eléctrico. Ver el Plano No. 3, que muestra el diagrama de control e instrumentación del proceso

- Eléctrico

Este diseño maneja las instalaciones y conexiones eléctricas correspondientes de la automatización, así como también para la programación del proceso de operación.

2) Diseño final. Según el diseño preliminar, se determinaron varias actividades necesarias para la realización del diseño de las áreas anteriormente mencionadas. Estas actividades se establecieron como las siguientes tareas:

- Verificar breaker
- Calcular polea
- Calcular motor
- Realizar diagrama de instalaciones eléctricas de campo
- Diseñar cableado exterior
- Realizar diagrama unifilar
- Definir operación de la torre

3) Cotizaciones. Esta fase se calendarizó para cuando ya se tuviera aprobado el diseño final propuesto, ya que depende de este diseño para definir las necesidades de materiales y equipo. Se presentaron dificultades al confirmar la lista de materiales y equipo, con respecto a cantidades y especificaciones, por lo que esta fase fue un punto crítico para la calendarización del Megaproyecto.

4) Compras. Se calendarizó el proceso de compras con el objetivo de no tener atrasos en el avance del Megaproyecto, sin embargo, este proceso dependía de tener todas las cotizaciones aprobadas para así emitir las órdenes de compra respectivas por medio del departamento de compras de la Universidad del Valle de Guatemala.

5) Implementación. Se programó llevar a cabo los diseños, realizados en las primeras fases del Megaproyecto, inmediatamente después de que los materiales y equipo fueran recibidos en la Universidad del Valle de Guatemala. Esta fase sufrió atrasos debido a que no todos los materiales y equipo fueron recibidos en el tiempo de entrega contemplado, para manejar esto se dio seguimiento constante a las órdenes de compra con sus respectivos proveedores. Mientras tanto, se adelantó lo que fuera posible con los materiales y equipo ya disponibles físicamente.

- Mecánica estructural

Se reconstruyó la estructura de la torre, en base al diseño mecánico estructural realizado por el equipo del Megaproyecto y aprobado por el asesor del mismo. En el Plano No. 1 se presentan las vistas del diseño mecánico estructural y en el Plano No. 2 el respectivo diseño en 3D. Esta fue la primera implementación llevada a cabo debido a que los materiales eran más accesibles que el resto. Los respectivos materiales fueron cortados y lijados, después fueron soldados en base al diseño planteado y finalmente se armó la estructura de la torre de pared mojada con la implementación de escaleras.

Figura No. 30 Soldadura de estructura



Figura No. 31 Estructura parcialmente terminada



Se utilizaron tubos de perfil cuadrado de 3" de ancho para las bases de la estructura, y al haber soldado todas estas piezas se procedieron a ser pintadas.

Figura No. 32 Fase de pintura



La estructura fue pintada de color azul porque es el código de color que maneja el Laboratorio de Operaciones Unitarias como estándar para todas las estructuras del mismo. Antes de pintar de color azul se aplicó una capa de pintura anticorrosiva, de color gris. La fase de pintura se llevó a cabo un soplete que funciona por medio de un compresor. Este proceso se realizó afuera de las instalaciones controlando la seguridad industrial, tanto del laboratorio como de los alumnos.

Figura No. 33 Estructura pintada



Al haber pintado la estructura, de acuerdo a las normas de seguridad industrial, las cuales establecen que para tener protección mecánica se debe contar con un buen diseño que elimine riesgos incidentales, se encontró la necesidad de agregar una baranda a la implementación de la escalera de la torre porque al utilizarla por primera vez se presentó inseguridad debido a la separación de los escalones y la altura de la misma. Por esta razón se diseñó la baranda y con el mismo material que se utilizó para las bases de la estructura se construyó, como se muestra a continuación en la Figura No. 34.

Figura No. 34 Implementación de baranda a escaleras de la estructura



A la Torre de pared mojada se le asignó un área determinada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, en donde la estructura debe ir fijada al suelo, para lograrlo se implementaron unas zapatas realizadas con hierro angular de 2" en las bases de las columnas de la estructura y estos fueron fijados al suelo de dicha área.

Figura No. 35 Soldadura de zapatas para anclaje al suelo



- **Proceso de operación**

La implementación de este proceso se programó para ser realizada en cuanto los materiales y equipo correspondientes fueran recibidos en la Universidad del Valle de Guatemala, sin embargo, como en todos los procesos de compra, se presentaron atrasos administrativos, por parte del comprador y del proveedor. En un proyecto se estipulan tiempos, los cuales se encuentran sujetos a cambios por razones justificables, o por problemas administrativos, pagos, entregas, etc. Por esta razón es importante tomar en cuenta los tiempos y retrasos, para que la conclusión del proyecto sea exitosa. Conforme se fueron recibiendo los materiales y equipo respectivos al proceso de operación, se implementaron a la estructura de la torre los sensores de temperatura y presión, las balanzas, el variador de velocidad, el ventilador con su respectivo motor, la polea y las válvulas.

- **Eléctrica**

La implementación eléctrica, al igual que la del proceso de operación, se programó para realizarse en cuanto los materiales y equipo correspondientes fueran recibidos en la Universidad del Valle de Guatemala. Sin embargo, debido a problemas administrativos por parte del comprador y proveedor, se retrasó la entrega de los materiales y equipo respectivos. Se estipuló una fecha de montaje que debido a los retrasos no se logró cumplir, según calendarización conforme son recibidos los materiales, se arma el panel de control, adentro de este la conexión de los cables, y por afuera la conexión hacia los sensores de temperatura y presión, y las balanzas.

En consecuencia del atraso de la entrega de los materiales y equipo, las actividades calendarizadas se congestionaron porque los estudiantes del equipo se encontraron con exámenes y proyectos finales para el cierre de pensum, sin embargo, estos problemas dejan la experiencia para no cometer errores parecidos al realizar proyectos futuros y así minimizar los defectos.

6) Puesta en marcha

- **Pruebas**

Después de haber implementado los diseños de armado, de acuerdo a la calendarización, se programó la puesta en marcha de la torre de pared mojada, para probar el programa, realizando varias pruebas para comprobar que los datos sean verídicos.

7) Informe escrito. Se calendarizó la realización del informe escrito individual, en el que cada estudiante del equipo del presente Megaproyecto realiza un reporte, de acuerdo a sus objetivos previamente establecidos según su ingeniería, contemplando los siguientes factores:

- Redacción
- Evaluación del proceso de operación
- Evaluación económica de alternativa
- Conclusiones

8) Presentación final. Después de haber entregado los informes escritos individuales, se calendarizó realizar presentaciones a expertos evaluadores del Megaproyecto, primero de manera individual y después de manera grupal al público invitado.

2. Proceso de compra. Se realizó el proceso de compra completo de los materiales y equipo requeridos para el Megaproyecto.

a. Lista de materiales y equipo. Se estableció una lista total de materiales y equipo, basándose en los diseños planteados, tomando en cuenta el área de funcionamiento, la cantidad, las dimensionales y la descripción específica. Ver Tabla No. 22.

Esta parte presentó inconvenientes al avance del Megaproyecto porque se editó la lista varias veces, debido a malos cálculos de cantidades y/o especificaciones de los materiales y equipos requeridos de cotizar.

1). Proveedores. Se identificaron proveedores especializados en las necesidades correspondientes a la lista de materiales y equipo requeridos para el Megaproyecto, entre ellos:

- Anclo
- Celasa
- Componentes Industriales
- Dilab
- Intek
- Mainco
- MISA
- Nils Pira y Cia. S.A.
- Novex
- Reset
- Sipesa
- Talleres Hernández

Para seleccionar a los proveedores se tomaron en cuenta las ofertas y descuentos ofrecidos, así como también el tiempo de entrega siendo este un factor crítico para los avances del Megaproyecto.

2) Cotizaciones. Se solicitaron cotizaciones respectivas a cada proveedor de acuerdo a la lista establecida de materiales y equipo requeridos para el Megaproyecto. Ver Apéndice C: cotizaciones. En esta fase se presentaron casos en los que los proveedores ofrecían dimensionales distintas a las solicitadas, lo cual tuvo que ser analizado para que esto no influyera en las especificaciones requeridas del material y equipo.

Se elaboró una tabla con la lista de materiales y equipo, y sus respectivas cotizaciones para darle el seguimiento correspondiente, ver Tabla No. 24. Para realizar una orden de compra, fue necesario que las cotizaciones fueran recientes, es decir, que su fecha de oferta no fuera mayor a un mes de anterioridad, y también debían ser importante que estuvieran a nombre de la Universidad del Valle de Guatemala, con su respectivo número de NIT. Las cotizaciones cuentan con el IVA incluido.

3) Órdenes de compra. Al haber sido evaluada y aprobada la oferta en la cotización de cada proveedor, se procedió a realizar las órdenes de compra respectivas por medio del departamento de compras de la Universidad del Valle de Guatemala, para tener control sobre esta fase se elaboró una tabla con el código de orden de compra, el cual es establecido por el departamento de compras, según la cotización presentada. Ver Tabla No. 25.

4) Costos. El costo por compras de material y equipo del Megaproyecto fue de Q 63,909.27, ver Tabla No. 23. Es importante mencionar que se obtuvieron descuentos de hasta el 50% en las compras con algunos proveedores, por acuerdos educativos con la Universidad del Valle de Guatemala, lo cual redujo los costos significativamente. Este valor presentado incluye costos de mano de obra absorbidos por los alumnos del equipo de este Megaproyecto, lo cual representa un beneficio para la inversión de la Universidad del Valle de Guatemala.

Adicionalmente, debido a los inconvenientes con la lista de material y equipo, en la fase de implementación, se notó que hacían falta varias cosas, las cuales se compraron de manera independiente a la Universidad del Valle de Guatemala, y el costo total fue de Q1, 062.66, el detalle de estos gastos extra es presentado en la Tabla No. 26.

Entonces, el costo total del Megaproyecto, tomando en cuenta los gastos extra, se estima en Q64, 971.93, sin embargo, debido a que los gastos extra no los cubrió la Universidad del Valle de Guatemala entonces la inversión total del Megaproyecto es de Q 63,909.27.

3. Alternativas financieras. Paralelo al proceso de compras, de acuerdo a la lista de los materiales y equipo requeridos para el Megaproyecto, se solicitó una cotización por realizar este proyecto completo a una empresa nacional especializada en instalaciones electromecánicas y automatización. El costo de la oferta cotizada fue de Q96, 172.91 sin IVA, ver Figura No. 52 y Figura No. 53. Se calculó el IVA en este análisis, resultando ser Q11, 540.75, por lo que el costo con IVA incluido es de Q107, 713.70. En esta cotización se encuentra el valor en dólares, para expresarlo en quetzales se tomó el tipo de cambio de referencia del precio de intercambio de la moneda Quetzal de Guatemala por el Dólar de Estados Unidos de América, siendo Q7.80 por \$1.00. (Banco de Guatemala, 2012). Adicionalmente, se solicitó una cotización a un Arquitecto por realizar los planos correspondientes al Megaproyecto, siendo cinco planos en total, el costo de esto fue de Q3, 632.85, ver Tabla No. 28. Al sumar todos los costos, el costo total por contratar profesionales para que realizaran el Megaproyecto resulto de Q111, 346.50 con IVA incluido.

De la misma manera, se contactó a un proveedor especializado en equipos de laboratorio para aprendizaje, y se cotizó la Torre de pared mojada por compra directa, en la Figura No. 55 se muestra la cotización con el precio del equipo puesto en las instalaciones, con un costo de Q374, 549.60, mientras que en la Figura No. 56 se muestra la cotización con el precio del CIF Guatemala, con un costo de Q296, 560.68. En estas cotizaciones se encuentran los valores en dólares, para expresarlo en quetzales se tomó el tipo de cambio de referencia del precio de intercambio de la moneda Quetzal de Guatemala por el Dólar de Estados Unidos de América, siendo Q7.80 por \$1.00. (Banco de Guatemala, 2012). En la Figura No. 57, Figura No. 58, Figura No. 59, y Figura No. 60; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las especificaciones técnicas del equipo, en el cual se muestra lo que puede desarrollarse con el mismo, su capacidad y dimensiones.

Entonces, la alternativa de la realización del proyecto con estudiantes, comparado con una empresa especializada en automatización, dio un ahorro en la inversión de Q 47,437.00, lo cual representa que sería un 74% más costoso para la Universidad del Valle de Guatemala optar por la alternativa de la empresa externa en lugar de la realización con estudiantes, y al comparar con la alternativa de compra directa resulta un ahorro en la inversión de Q 310,640.00, lo cual representa que sería 486% más costoso para la Universidad del Valle de Guatemala realizar la compra directa del equipo en lugar de restaurarlo y automatizarlo con estudiantes.

4. Seguimiento. Se persiguió el cumplimiento del cronograma establecido en la planeación, sin embargo, eventualmente se hicieron ajustes de las actividades para mantener el control del desarrollo del Megaproyecto. En el proceso de compras, al haber realizado las ordenes, se dio seguimiento constante a cada una debido a los diferentes tiempos de entrega ofrecidos por los proveedores. Al finalizar cada semestre se presentó un informe escrito grupal con los avances respectivos.

También se le dio seguimiento a las órdenes de compra. Se registró el código de cada orden, como se muestra en la Tabla No. 25, y se visitó constantemente al departamento de compras de la Universidad del Valle de Guatemala para evaluar entregas o atrasos. Para esto también se creó una base de datos, como se muestra a continuación en la Tabla No. 21, con los respectivos proveedores y así se solicitaron avances de las órdenes de compra de manera más directa.

Tabla No. 21 Base de datos - proveedores

Proveedor	Contacto	Teléfono	Email
Anclo	Luis Sánchez	23784300	lsanchez@othec.com
Celasa	Karina Castañeda	22707777	karina.castaneda@celasa.com.gt
Componentes Industriales		23121700	
Dilab	Ana Gabriela De la Cruz	23184000	secventas2@dilabsa.com
Intek	Edgar García	23615977	ergarcia@intek-ca.com
Mainco	Annie Flores		asesorventas10@mainco.com.gt
MISA	Manner Díaz	23821500	misa@intelnet.net.gt
NILS PIRA Y CIA. S.A.		23326527	
Novex	Nery Marcos	23795200	
Reset	Julio Castillo	53593963	jecastillo@resetsa.com
Sipesa	Luis Serrano	40344100/24749300 ext. 2553	lserrano@disagro.com
Talleres Hernández	Daniel Hernández	22515512	talleres.hernandez@yahoo.com
UVG	Christian Rossi		rossi@uvg.edu.gt

- Reuniones

Se realizaron reuniones semanales y/o conforme fueron necesarias para presentar avances del Megaproyecto, ya sean individuales como grupales, con el asesor.

- Control de inventario

Al darle seguimiento a las órdenes de compra, se fue registrando cada orden recibida, corroborando con la lista de materiales y equipo cotizada, para tener un control del inventario.

B. MÓDULO DE RESTAURACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN

1. Restauración de la torre de pared mojada. La estructura anterior ocupaba un área de 1.78 m² por lo que se diseñó una estructura que ocupara una menor área. Esta se puede observar en Apéndice H: Planos Pág. No. 153, teniendo un área de 1 m².

Con esto se logró acomodar la estructura sin ningún problema al lado del evaporador simple efecto, cumpliendo con el tamaño deseado y la función de soportar la torre de pared mojada. Otro factor que se tomó en cuenta para hacer un nuevo diseño de la estructura fue que no contaba con un acceso adecuado para el usuario, es por esto que se implementó una escalera en la estructura para que el usuario pueda realizar las prácticas sin ningún peligro. En el nuevo diseño se aumentó la altura en la cual se encuentra el descanso o el área de trabajo para el usuario, de 2.00 m que tenía la estructura anterior a 2.50 m, esto con el objetivo de que fuera más fácil alcanzar el recipiente en la parte superior y poder llenarlo de una forma más segura. A pesar de esta consideración el llenado del recipiente superior sigue siendo peligroso para el usuario ya que no fue suficiente la altura considerada. La altura para el área de descanso adecuada para un llenado seguro tenía que haber sido de por lo menos, 3.00 m. Una recomendación para mantener seguro al usuario durante las prácticas es la implementación de un arnés, esto aplica mientras se mantenga en el área de descanso. Otra recomendación es que debido al espacio reducido únicamente suba un usuario, ya que al haber más de una persona se puede ocasionar un accidente. También se recomienda colocar tape antideslizante en cada peldaño de la estructura para asegurar que no va a resbalarse el usuario al subir o bajar de la estructura. Debido a que aumentar la altura del área de descanso no es algo viable también se recomienda implementar una escalera para ayudar al usuario a que llegue al recipiente sin ningún problema, tomando en cuenta siempre los factores de seguridad respectivos.

La base de la estructura anterior se había fabricado con tubos de caldera reciclados, estos eran resistentes pero no brindaban mucha estabilidad en la estructura. Por esto se decidió utilizar tubos de perfil cuadrado de 0.0762 m (3") de ancho para lograr buena estabilidad y tener una estructura durable. En el área de descanso se colocó una malla metálica, anteriormente se tenían tablas de madera, pero al estar trabajando con líquidos es mucho más fácil la limpieza y es un material que va a durar mucho más tiempo. En el diseño original de la estructura no se había considerado un pasa manos para la escalera, pero al estar terminada la estructura se vio que era necesario colocarlo en el lado izquierdo de la escalera para tener un punto de apoyo al subir y bajar de la misma.

Para la parte superior de la estructura se reutilizó la que se tenía de la estructura anterior, dando así soporte a la sección mojada. Al estar instalando la torre se vio que la parte de calma superior quedaba sin un punto de soporte, anteriormente esta sección estaba hecha de tubo PVC y no contaba con ningún instrumento de medición por lo que no era necesario tenerla asegurada en ningún punto. Es por esto que se tuvo que agregar un marco con hierro angular de 0.0254 m (1") de 0.65 m de alto, entonces la sección de calma superior quedó fijada con el colgador tipo "hanger" hacia el marco realizado con hierro angular. Lo que no se tomó en cuenta en esta instalación fue que el peso de la sección de calma superior estaba siendo sostenido por el distribuidor superior, al estar hecha con tubo Inox y tener dos sensores RTD y la conexión para caída de presión en la torre, era un gran peso el que estaba ejerciendo sobre el distribuidor y al ser de vidrio se quebró luego de una semana de haber sido instalada la sección de calma superior. Por esto fue necesario agregar un

soporte para que el peso del tubo no recayera sobre el distribuidor, para realizarlo se utilizó hierro angular de 0.0254 m (1”).

Ya teniendo la estructura adecuada para la torre de pared mojada, se procedió a la restauración de la torre. Un punto clave en la restauración fueron los distribuidores de líquido, ya que estos permiten que fluya el líquido del recipiente superior hacia la sección mojada y permiten que entre el flujo de aire en la parte inferior de la torre retirando al mismo tiempo el líquido hacia el recipiente inferior. Anteriormente, los distribuidores estaban hechos de acrílico, pero luego de utilizar los diferentes tipos de solventes en las prácticas, se fueron opacando. Para evitar este problema, se decidió utilizar frascos de vidrio transparente usados para reactivos químicos. Se intentó cortar los frascos en una vidriera pero al ser un vidrio muy delgado no fue posible, es por esto que se implementó una técnica de corte. Esta consistió en llenar con aceite el frasco a la altura que se deseaba realizar el corte, luego se calentaba un hierro con acetileno para tenerlo al rojo vivo y así se introducía en el aceite. Por el gradiente de temperatura el vidrio se lograba cortar justamente al nivel en el que estaba el aceite. De esta forma entonces se obtuvo los cilindros para ambos distribuidores, para taparlos se utilizaron las tapaderas anteriores. No fue necesario cambiarlas ya que no afectaba que estuvieran opacas, para asegurar que no tuvieran fugas se utilizó un pegamento epóxico en la unión del borde interno como en el borde externo. Cabe mencionar que no se utilizó un sellador normal ya que al estar utilizando alcoholes, estos lavarían el sellador luego de varias corridas.

Para las secciones de “calma superior” e “inferior” se utilizó tubería de acero inoxidable cedula 40 de 0.0254 m (1”), de esta forma se tiene una superficie estable para soportar el peso de los instrumentos de medición. Se mantuvo el mismo diseño de la torre anterior con 52 diámetros para la sección de calma inferior, 39 diámetros para la sección de calma superior y 58 diámetros para la sección mojada. De esta forma se aseguró que el funcionamiento de la torre iba a ser el adecuado, ya que anteriormente se obtuvieron buenos resultados, llevándose a cabo la transferencia de masa esperada.

Para la medición de la velocidad del aire que ingresa a la torre se diseñó una placa de orificio por medio del software FlowCalc32 CE. Teniendo los rangos de operación se llegó que la placa de orificio debía de tener $\beta=0.5$. Esta cuenta con dos tomas de caída de presión del tipo tubería (2.5 pulgadas aguas arriba y 8 pulgadas aguas abajo). Esta fue una alternativa, ya que la instalación de un instrumento de medición para velocidad de aire tenía un vástago de medición muy largo 0.4572 m (18”), complicando la conexión al proceso ya que el tubo es de 0.0254 m (1”). En lugar de este instrumento se utilizó un sensor para caída de presión diferencial en la placa, logrando un ahorro de Q1615.00 ya que el sensor de velocidad de aire era más caro.

Finalmente, la restauración de la torre representó un costo de Q9,409.14, del costo total del proyecto de Q64,971.93

2. Selección de sensores y controladores para la operación del equipo.

Simultáneamente al diseño de la estructura y de la restauración de la torre se realizó la selección de los instrumentos de medición y controladores para la automatización del equipo. Para esto fue necesario definir primero las variables a medir en el proceso. Para la medición de la humedad del aire a la entrada y salida de la torre se había pensado utilizar un sensor de humedad, este al proporcionar la humedad relativa también indicaba la temperatura del flujo de aire. Ya que la torre se pensaba operar con otro tipo de solventes, no solo con agua, este instrumento de medición no proporcionaba los datos necesarios y no se estaba aprovechando adecuadamente. Por esto se decidió medir las temperaturas con sensores RTD, con estos se pudo medir la temperatura de bulbo húmedo, bulbo seco y por medio de la relación psicrométrica se calculó sin ningún problema la humedad en el aire, tanto para el agua como para otro tipo de líquido. Para la medición del bulbo húmedo, fue necesario colocar un medio que pudiera humedecerse con los líquidos a utilizar en las prácticas. Se utilizó una cinta de zapato, cortándola transversalmente cumplía con el objetivo de humedecerse y quedaba ajustada al vástago del sensor RTD. Durante las corridas de prueba fue necesario estar monitoreando la cinta del sensor RTD en la parte superior como en la parte inferior, ya que siempre debían de estar húmedas.

Otra de las variables que se necesitaba medir era la velocidad de aire al entrar a la torre, como se mencionó anteriormente, siendo la mejor opción la placa de orificio con un sensor de presión diferencial. A través del programa de usuario fue posible convertir el valor de caída de presión a velocidad, esto para que el usuario tenga el dato más fácil y pueda tener idea en que rangos está trabajando la torre. Otra variable a considerar es la cantidad inicial de líquido y la cantidad final, para esto se había pensado utilizar un sensor de presión continuo colocado en el fondo del recipiente que contiene el líquido. Por medio de la ecuación de Bernoulli se pensaba despejar el volumen que contenía en base a la presión que ejercía en el fondo del recipiente. Ya que la variable que interesa es la cantidad de masa que se está transfiriendo se utilizó como instrumentos de medición dos balanzas para medir la masa de líquido, este método fue el más adecuado ya que fácilmente se obtenía el flujo másico del líquido en la torre, también fue una forma fácil de poder determinar que tanto líquido se estaba transfiriendo hacía el flujo de aire. Teniendo el peso inicial del líquido y el peso final por diferencia se obtuvo el líquido transferido, como observación se puede decir que fue necesario cuantificar cuanto líquido era el que se quedaba en los distribuidores para obtener únicamente la cantidad de líquido evaporado. Esto se puede considerar como una de las fuentes de error al momento de obtener los resultados, ya que no fue posible cuantificar exactamente cuánto líquido era el que quedaba en el sistema, tanto en los distribuidores como en mangueras y tubería. Una forma fácil para que el usuario observara como iba variando la masa del líquido en la entrada con la salida, fue graficando en el programa de usuario. En el eje X se tenía el tiempo transcurrido de la corrida y en el eje Y el peso registrado para la balanza superior y la balanza inferior. El rango de masa al operar la torre era entre 15-20 kg por lo que se tiene cierto margen por si se llegaran a cambiar los recipientes de líquido o fuera necesario utilizar un volumen mayor.

Ya que los coeficientes de transferencia de masa se ven afectados directamente por la velocidad en la que ingresa el aire a la torre, se decidió controlar el motor del ventilador por medio de un variador de frecuencia. Al ser un motor de 1.5 hp, se decidió utilizar un variador Powerflex 4. Al motor se le instaló una polea tipo A de 4" para tener una relación de 4:1 con la polea que estaba instalada en el ventilador. De esta forma se obtuvo un rango de velocidad de aire amplio para la operación de la torre, un rango adecuado fue de 1-5 m/s. La salida de aire del ventilador cuenta con una válvula de paso, está siempre se mantuvo abierta al 100%, por lo que se recomienda mantener esta configuración para obtener resultados similares. Para controlar el variador desde la PC, es necesario comunicarlo con el PLC. Para esto se tenían dos opciones, una era por medio de una salida analógica para darle señal y la otra era por medio de una conexión Modbus o bus de campo. La primera opción se descartó ya que el Micrologix 1100 no cuenta con salidas analógicas y era necesario comprar un módulo adicional. Entonces se utilizó la segunda opción para conectar el variador de frecuencia.

Por último, se tenía que tener un control del paso para el líquido que está ingresando a la torre. Para lograrlo se instaló un sistema de doble paso, con una válvula de bola y una válvula solenoide. La válvula solenoide al tener una señal de 24VDC, se conectó a una de las salidas digitales del Micrologix 1100. Logrando así, que el usuario pueda abrir y cerrar la válvula desde el programa de usuario.

Teniendo seleccionados todos los sensores fue posible cuantificar las señales de entrada y salida, al tener como PLC el Micrologix 1100 se pudo ver que no se contaba con las entradas suficientes. Se puede observar la Tabla No. 15 Pág. No. 54, es por esto que se decidió añadir dos módulos para señal RTD, ya que se tienen seis señales RTD y con los módulos auxiliares se tienen ocho entradas. También se decidió añadir un módulo auxiliar analógico ya que se necesitaban cuatro entradas y el PLC solo tenía dos. Entonces se conectan las cuatro entradas en el módulo auxiliar analógico y se dejan las dos entradas del PLC libres. El variador como se mencionó anteriormente se conectó por medio de una señal de bus de campo, esto para evitar la compra de un módulo y la válvula solenoide se conectó sin ningún problema a una de las salidas digitales. Para establecer comunicación entre el Micrologix 1100 y la PC se utilizó la conexión Ethernet, ya que la conexión del puerto serial se utilizó para comunicar el variador de frecuencia con el PLC.

3. Diseño de la interfaz gráfica para el programa de operación del equipo.

Otra fase del proyecto fue el diseño de las pantallas para el programa de operación. Se tienen cinco pantallas, en donde la primera pantalla es la carátula del programa. A partir de esta pantalla se puede ingresar a la operación de la torre, a una pantalla de instrucciones y salir del programa. Se decidió colocar una pantalla con instrucciones básicas para la operación de la torre, tanto en modo manual como en modo automático, asegurando que el usuario va a poder realizar las prácticas sin ningún problema. Al seleccionar el modo de operación, se tiene una pantalla previa en la que se realiza una lista de chequeo. El usuario debe asegurarse que cada uno de esos puntos se está cumpliendo para poder continuar a la pantalla de operación, teniendo

como opción la operación manual o automático y por último puede dar inicio a la operación de la torre. Como se puede ver en la sección de Apéndice J: Pantallas HMI programa de operación, Pág. No. 183, las variables se observan fácilmente para que el usuario tome lectura de las mismas, como también se incluyó una gráfica de masa vs. tiempo para que el usuario pueda observar la variación que se tiene a lo largo de la práctica. De esta manera se logra cumplir, el tener la menor cantidad de pantallas para que la interfaz gráfica sea amigable y fácil de utilizar.

4. Elaboración de un manual de operación del equipo. También se está logrando que el usuario sea capaz de operar el equipo sin ningún problema, para asegurar que la torre se opera adecuadamente se elaboró un manual de operación del equipo. Así, si el usuario tuviera alguna duda o quisiera más detalle de cómo operar el equipo adecuadamente puede tenerlo a la mano. Se está entregando una versión impresa como una versión digital para facilidad de acceso, puede observarse en la sección de Apéndice I: Manual de usuario, Pág. No. 156.

La operación de la torre en modo manual permite al usuario operar la torre a diferentes velocidades de aire, por otro lado el modo automático ya tiene definidas 4 velocidades de operación. Estas son de 3.5 m/s, 4.5 m/s, 5.5 m/s y 6.5 m/s. De esta forma se puede realizar una primera corrida y observar la tendencia que tienen los datos obtenidos, si los resultados no fueran cercanos a los datos teóricos, el usuario puede entonces operar el equipo en modo manual y variar las velocidades en rangos más pequeños. El modo automático se estableció en base a la masa que se tiene en el recipiente en la parte superior de la torre. Si la masa del líquido se encuentra entre el rango de 20 a 15 kg opera a la primera velocidad, luego entre 15 y 10 kg la siguiente velocidad, entre 10 y 5 kg la siguiente velocidad y finalmente entre 5 y 0 kg la última velocidad. Luego el ventilador se apaga y se cierra la válvula de paso.

5. Determinación de los coeficientes de transferencia de masa. Una forma de comprobar que la torre funciona adecuadamente fue la realización de las corridas de prueba. Como primer resultado se obtuvo el factor de fricción ocasionado por la caída de presión en la sección mojada de la torre, se obtuvo la ecuación que describe esta fricción en tubos lisos. Esta es $\left(\frac{f}{2}\right) = 0.37N_{Re}^{-0.409}$. Comparada con la ecuación teórica, $\left(\frac{f}{2}\right) = 0.023N_{Re}^{-0.2}$ se puede ver que el factor es 16 veces más grande, es decir que los valores experimentales fueron 16 veces mayores a los teóricos. Esto puede ser causado por irregularidades en los distribuidores, también que al ser caídas de presión muy pequeñas, un pequeño desperfecto causa una gran diferencia. Si las caídas de presión fueran más grandes, las imperfecciones podrían causar errores despreciables. La diferencia de los valores experimentales con los teóricos puede observarse claramente en la Gráfica No. 1. Se recomienda revisar el diseño de los distribuidores para que se pueda disminuir las irregularidades y que los valores se acerquen más a la ecuación teórica.

Se considera que la fuerza impulsora para la transferencia de masa es una diferencia de humedades. El líquido se considera saturado y se calcula su humedad a partir de su temperatura. El gas tiene a la entrada, la humedad dada por los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo como también a la salida de la torre. Con el gradiente utilizado se logra obtener el coeficiente k_y , como también el coeficiente de tipo F.

Se puede ver en la Gráfica No. 1, Pág. No.56, que los coeficientes obtenidos se encuentran en el mismo rango, tienen la misma tendencia de aumentar al tener número de Reynolds mayores. Esto es razonable, pues hay mayor flujo de gas y puede transportar una mayor cantidad de vapor en unidad de tiempo. Entonces se puede decir que la transferencia de masa se ve afectada directamente por la velocidad que se tenga en el flujo de aire, esto también se favorece ya que al tener mayores velocidades el flujo es turbulento, logrando así una mejor transferencia de masa.

Para poder comprobar que los coeficientes de transferencia de masa obtenidos se acercaban a los valores teóricos se utilizó la correlación que da el número de Sherwood en función del número de Reynolds. Al ser una relación lineal, se calculó el coeficiente de correlación lineal para realizar una comparación de que tan cerca están los valores experimentales de los valores teóricos. Como se puede ver en la Tabla No. 20 Pág. No.60, el coeficiente de correlación lineal obtenido para la ecuación del etanol fue de 0.959, siendo este el valor más alto y con mejor ajuste a los datos teóricos. También se puede ver, que el coeficiente de correlación lineal obtenido para la ecuación del metanol fue de 0.829, siendo este el valor más bajo y con el ajuste más lejano a los datos teóricos. En las Pág. No. 56-60 se tienen las gráficas para cada uno de los líquidos, aquí se puede observar la tendencia de cada uno de los datos obtenidos. Para el agua se obtuvieron valores menores a los teóricos, esto puede deberse a que la película formada en la sección mojada no era uniforme provocando una menor transferencia de masa. Para el metanol y etanol se obtuvieron valores mayores a los teóricos con la diferencia que los datos del metanol fueron más dispersos y los datos del etanol fueron bastante lineales, esto se refleja en el coeficiente de correlación lineal obtenido. Por último para el 2-propanol se obtuvieron algunos valores mayores a los teóricos y algunos valores menores a los teóricos, no se encontraron tan dispersos por lo que su coeficiente de correlación lineal fue similar al que se obtuvo para el metanol. Los valores experimentales fueron representados por medio de la Ecuación No. 24.

Durante cada corrida se registró, la masa inicial del líquido en la parte superior de la torre y la masa final del líquido en la parte inferior de la torre. Se debe mencionar que en el distribuidor de la parte superior de la torre, se tiene una pérdida de masa. Esto es debido a que hay cierta cantidad de líquido que se queda en el recipiente, ya que debe llenarse a cierta altura para lograr que el líquido descienda por el tubo de vidrio. Dependiendo el líquido que se utilizara, esta pérdida de masa era diferente. Tomando la densidad de cada uno de los líquidos se determinó que la pérdida de masa para el agua era 0.784 kg, para el metanol 0.625 kg, para el etanol 0.622 kg y para el 2-propanol 0.619 kg. En la corrida realizada con agua se obtuvo una diferencia de masa igual a 0.846 kg, con metanol una diferencia de masa igual a 0.710 kg, con etanol una diferencia de masa igual a 0.714 y finalmente con 2-propanol una diferencia de masa de 0.662 kg. Para obtener

realmente la cantidad de líquido que se transfirió al aire se restó la masa que se pierde en el distribuidor, los valores obtenidos entonces son 0.062 kg para agua, 0.085 kg para metanol, 0.092 kg para etanol y 0.043 kg para 2-propanol.

Tomando en cuenta que el tiempo de duración para cada corrida fue de 1 hora, el área de transferencia de masa, que es el área del tubo de vidrio, es de 0.00076 m^2 . Se calculó el coeficiente de transferencia de masa para cada una de las corridas, para el agua fue de $81.09 \text{ kg/m}^2\text{h}$, para el metanol fue de $111.18 \text{ kg/m}^2\text{h}$, para el etanol fue de $120.33 \text{ kg/m}^2\text{h}$ y para el 2-propanol fue de $49.13 \text{ kg/m}^2\text{h}$. Comparando estos resultados con el promedio de los coeficientes de transferencia de masa obtenidos a partir de la diferencia de humedades, se tienen los siguientes porcentajes de diferencia. Para el agua un 3.8 % de diferencia, para el metanol 1.5% de diferencia, para el etanol 1.3% de diferencia y para el 2-propanol 1.2% de diferencia. Se puede ver que las diferencias obtenidas siguen la misma tendencia que se obtuvo para la correlación lineal de los datos teóricos con los experimentales. Esto confirma que los valores obtenidos para la corrida de agua fueron los que más alejados estaban de la teoría mientras que los valores experimentales obtenidos para el etanol fueron los que más se acercaron a la teoría.

Las ecuaciones que correlaciona los coeficientes de transferencia de masa obtenidas fueron $N_{Sh} = 0.0028N_{Re}^{0.79}N_{Sc}^{0.69}$ para el agua, $N_{Sh} = 0.026N_{Re}^{0.80}N_{Sc}^{0.72}$ para el metanol, $N_{Sh} = 0.025N_{Re}^{0.80}N_{Sc}^{0.67}$ para el etanol y $N_{Sh} = 0.021N_{Re}^{0.81}N_{Sc}^{0.75}$ para el 2-propanol. Se puede ver que todas las ecuaciones se acercan a la ecuación teórica pero los coeficientes variaron en todas las corridas. Esto se debe a que no se tuvieron las mismas velocidades para el aire y también que existe cierto error tanto por parte de los instrumentos de medición como en el equipo. También, se tienen diferencias ya que el número de Schmidt depende directamente de cada líquido. En general se puede decir que las ecuaciones siguen la misma tendencia lineal para los 4 líquidos, cumpliendo así con el objetivo de obtener los coeficientes de transferencia de masa.

Se recomienda en un futuro implementar prácticas para transferencia de calor, aumentando la temperatura del líquido a utilizar y poder así comparar las analogías que existen entre la transferencia de masa y de calor, logrando así complementar el Laboratorio de Operaciones Unitarias y el aprendizaje de los usuarios.

Otro factor que pudo causar la diferencia de los valores teóricos y los experimentales, fueron los efectos de turbulencia a través de los distribuidores. Una mayor turbulencia causa una mayor transferencia de masa y por lo tanto coeficientes de transferencia de masa mayores. Cabe mencionar que los flujos de líquido no afectaban en la transferencia ya que la resistencia de la transferencia en la fase líquida es nula.

A partir de los datos obtenidos experimentalmente, se observó que en el rango del número de Reynolds de [9000-11000], se tenía un comportamiento diferente en los coeficientes de transferencia de

masa, por lo que se recomienda tomar una mayor cantidad de mediciones dentro de este rango para identificar si es una región adecuada para operar la torre de pared mojada.

Por último, se recomienda que se implemente un sistema de bombeo de líquido del tanque inferior hacia el tanque superior para evitar accidentes y problemas al momento de llenarlos, la implementación del uso de arnés para mantener seguro al usuario que se encuentra en la parte superior de la torre y la implementación de una escalera en la parte superior, previo y durante la implementación del sistema de bombeo, para limpieza del recipiente.

IX. CONCLUSIONES

1. El diseño de distribución de tareas facilitó la concretización de las mismas, ya que cada estudiante estaba al tanto de sus responsabilidades.
2. La torre de pared mojada se restauró con tubería de acero inoxidable de 0.0254 m de diámetro para la sección de calma inferior y superior, con un largo de 1.39 m y 1.05 m respectivamente, la sección mojada con tubería de vidrio Pyrex de 0.03175 m de diámetro y un largo de 1.81 m, la estructura que soporta la torre ocupa un área de 1 m², siendo menor a 1.78 m² que ocupaba anteriormente, teniendo la restauración un costo de Q9,409.14 de los Q64, 971.93.00 del costo total del proyecto.
3. Los sensores seleccionados para automatizar la torre de pared mojada fueron 2 balanzas marca Mettler Toledo, 6 RTD marca Instrucon y 2 sensores de presión diferencial marca Dywer, los cuales son gobernados por un PLC Micrologix 1100, siendo un controlador adecuado para la magnitud del proyecto y con la capacidad de añadir dos módulos auxiliares RTD y un módulo auxiliar analógico para cumplir con los requerimientos de las señales de los sensores.
4. Se diseñaron cinco pantallas para el programa de operación de la torre de pared mojada, con la opción de operar el equipo en modo manual y automático. Observando las temperaturas, caídas de presión, flujo de aire y masa de los líquidos durante la operación de la misma.
5. El manual de la torre de pared mojada permite al usuario encontrar una descripción del equipo, los requisitos para poder operar de forma manual y automática y medidas de seguridad al operarla con los diferentes líquidos.
6. Las ecuaciones que correlaciona los coeficientes de transferencia de masa son $N_{Sh} = 0.028N_{Re}^{0.79}N_{Sc}^{0.69}$ para el agua, $N_{Sh} = 0.026N_{Re}^{0.80}N_{Sc}^{0.72}$ para el metanol, $N_{Sh} = 0.025N_{Re}^{0.80}N_{Sc}^{0.67}$ para el etanol y $N_{Sh} = 0.021N_{Re}^{0.81}N_{Sc}^{0.75}$ para el 2-propanol. Teniendo una ecuación para la fricción en tubos lisos de $(f/2) = 0.37N_{Re}^{-0.409}$.
7. La inversión para la Universidad del Valle de Guatemala, por la reconstrucción y automatización de la Torre de pared mojada, en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, fue de Q 63,909.00 sin incluir gastos extra.
8. La alternativa referente a la realización del proyecto con estudiantes comparada con la alternativa de contratar una empresa externa, dio un ahorro de Q 47,437.00 en la inversión, lo cual representa

9. que sería un 74% más costoso para la Universidad del Valle de Guatemala contratar a una empresa externa para realizar este Megaproyecto en lugar de hacerlo con estudiantes.

10. La alternativa referente a la realización del proyecto con estudiantes comparada con la alternativa de compra directa del equipo a un proveedor especializado, dio un ahorro de Q 310,640.00 en la inversión, lo cual representa que sería 486% más costoso para la Universidad del Valle de Guatemala la compra directa a un proveedor del equipo restaurado y automatizado en este Megaproyecto en lugar de hacerlo con estudiantes.

11. La mejor opción, en el presente Megaproyecto, para la Universidad del Valle de Guatemala, es la alternativa de realización con estudiantes.

X. RECOMENDACIONES

1. Instalar un sistema de bombeo para llenar el recipiente superior con el líquido a utilizar, facilitando la operación de la torre de pared mojada.
2. Instalar una escalera en la parte superior de la torre permitiendo acceso al recipiente superior, previo y durante la implementación del sistema de bombeo, para limpieza de los recipientes.
3. Implementar el uso de arnés para el usuario que se encuentra en la parte superior de la torre, tomando como punto de anclaje la baranda evitando así posibles accidentes.
4. Realizar más mediciones con los diferentes líquidos dentro de del rango [9000-11000] de Número de Reynolds ya que se observó un comportamiento diferente en los coeficientes de transferencia de masa.
5. Realizar mediciones de transferencia de calor aumentando la temperatura del líquido a utilizar y poder así comparar las analogías que existen entre la transferencia de masa y de calor.
6. Para las siguientes fases de automatización del Laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, se recomienda establecer un 5% de la inversión del Megaproyecto, de manera adicional, para cubrir imprevistos ya que en todo tipo de proyectos se justifican gastos extra, debidos a diversas razones, que deben de ser contemplados como costos de puesta en marcha.
7. Se recomienda continuar con la automatización del Laboratorio de operaciones unitarias en posteriores Megaproyectos, ya que esto beneficiará tanto a los estudiantes de Ingeniería Química como a la Universidad del Valle de Guatemala, alcanzando ahorros significativos al realizar mejoras en las instalaciones, así como también incrementando ventajas competitivas para los operarios de estos equipos y el prestigio de la institución.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Baca Urbina, G. (2006). *Evaluacion de proyectos*. (P. E. Vazquez, Ed.) Mexico: Mc Graw Hill.
2. Balcells, R. (1991).
3. Banco de Guatemala. (octubre de 2012). www.banguat.gob.gt.
4. Briceño L., P. (1996). *Administracion y direccion de proyectos* (2da ed.). (A. G. Zavala, Ed.) Chile: Mc Graw Hill.
5. Catalytic Construction Company. (1974). *Metodo del camino critico* (5ta ed.). Mexico: Editorial Diana.
6. Electronics, abc;. (6 de octubre de 2012). *Copyright 2012 Scribd Inc*. Recuperado el 2012, de Scribd Inc.: <http://www.scribd.com>
7. Gil, H. (2005). *Soldadura: Principios, técnica y equipos*. España: Ediciones CEAC.
8. Gilliland, E. R., & Sherwood, T. K. (1934). Diffusion of Vapor into Air Streams. *Industrial and Engineering Chemistry*, 26, 516-523.
9. Guadayol, J. (2010). *La automatización en la Ingeniería Química*. España: Universidad Politécnica de Catalunya.
10. Hull, D. (2003). *Materiales Compuestos*. España: Editorial Reverté.
11. Jackson, M. L., & Ceaglske, N. H. (1950). Distillation, Vaporization, and Gas Absorption in a Wetted-Wall Column. *Industrial and Engineering Chemistry*, 42, 1188-1198.
12. McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (1991). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química* (4ta ed.). España: McGraw Hill.
13. McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. España: McGraw-Hill.
14. Oropin, J. D. (2011). *Cuarta fase de la automatizacion del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala*. Ingeniería Industrial. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
15. Perry, J. R., & Green, D. W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7a ed. ed.). USA: McGraw-Hill.
16. Ramos, J. R. (1997). *Montaje de una torre de paredes mojadas para realizar prácticas de transferencia de masa*. Universidad del Valle de Guatemala, Departamento de Ingeniería Química. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
17. Sherwood, T. K. (1952). *Absorption and Extraction*. USA: McGraw-Hill.
18. Skoog, D. A. (2005). *Fundamentos de Química Analítica*. México: Cengage Learning Latin America.

19. Treybal, R. E. (1988). *Operaciones de Tranferencia de Masa* (2da. ed. ed.). México: McGraw-Hill.

XII. ANEXOS

1. Apéndice A: Cronogramas

Figura No. 36 Cronograma general preliminar

	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
1	± Diseño preliminar	106 days	Mon 04/07/11	Sat 26/11/11		Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
5	± Diseño final	132 days	Sat 14/01/12	Sat 14/07/12	1	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
13	± Cotizaciones	50 days	Mon 23/04/12	Fri 29/06/12	5	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
17	± Compras	88 days	Mon 21/05/12	Wed 19/09/12	13	Claudia R.
20	± Implementación	295 days	Mon 29/08/11	Fri 12/10/12	17	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
31	± Puesta en marcha	9 days	Mon 15/10/12	Thu 25/10/12	20	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
33	± Informe escrito	119 days	Mon 02/07/12	Thu 13/12/12	31	Claudia R.,Luis H.
38	± Presentación final	5 days	Fri 14/12/12	Thu 20/12/12	33	Claudia R.,Luis H.

Figura No. 37 Cronograma general detallado

Task Name	Duración	Comienzo	Fin	Predece soras	Nombres de los recursos
Diseño preliminar	100 días	sáb 09/07/11	sáb 26/11/11		Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
mecánico estructural	36.63 días	sáb 09/07/11	sáb 27/08/11		Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
proceso de operación	66.63 días	sáb 27/08/11	sáb 26/11/11		Luis H.
eléctrico	66.63 días	sáb 27/08/11	sáb 26/11/11		Hugo Ch.
Diseño final	132 días	sáb 14/01/12	sáb 14/07/12	1	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
verificar breaker	6.75 días	sáb 03/03/12	lun 12/03/12	4	Hugo Ch.
calculo de polea	1.75 días	sáb 03/03/12	lun 05/03/12	3	Luis H.
calculo de motor	14.75 días	sáb 03/03/12	jue 22/03/12	3	Luis H.
diagrama de instalaciones eléctricas d	1.75 días	sáb 03/03/12	lun 05/03/12	4	Hugo Ch.
cableado exterior	1.75 días	sáb 03/03/12	lun 05/03/12	4	Hugo Ch.
diagrama unifilar	67.88 días	lun 16/01/12	mié 18/04/12	4	Hugo Ch.
operación de la torre	0.88 días	jue 12/07/12	jue 12/07/12	3	Luis H.
Cotizaciones	50 días	lun 23/04/12	vie 29/06/12	5	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
listado de materiales	56.63 días	sáb 14/01/12	sáb 31/03/12	5	Hugo Ch.,Luis H.
proveedores	39.88 días	lun 02/04/12	vie 25/05/12	14	Claudia R.
alternativa en empresa externa	19.88 días	lun 04/06/12	vie 29/06/12	14	Claudia R.
Compras	88 días	lun 21/05/12	mié 19/09/12	13	Claudia R.
ordenes de compra	84.88 días	lun 21/05/12	vie 14/09/12	13	Claudia R.
control de inventario	52.88 días	lun 09/07/12	mié 19/09/12	18	Claudia R.
Implementación	294.88 días	lun 29/08/11	vie 12/10/12	17	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
mecánica estructural	73.88 días	lun 04/06/12	jue 13/09/12	18	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
pintar estructura	4.88 días	lun 29/08/11	vie 02/09/11	2	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
proceso de operación	19.88 días	lun 17/09/12	vie 12/10/12	18	Luis H.
eléctrica	11.88 días	lun 17/09/12	mar 02/10/12	18	Hugo Ch.,Luis H.
programación	6.88 días	sáb 29/09/12	sáb 06/10/12	18	Hugo Ch.
diseño de pantallas	0.88 días?	lun 24/09/12	lun 24/09/12	5	Luis H.
diseño de graficas	0.88 días?	lun 24/09/12	lun 24/09/12	5	Luis H.
programa de proceso	0.88 días?	jue 20/09/12	jue 20/09/12	17	Hugo Ch.
variables de proceso	0.88 días?	lun 24/09/12	lun 24/09/12	5	Hugo Ch.,Luis H.
exportar a Excel	0.88 días?	lun 24/09/12	lun 24/09/12	5	Hugo Ch.
Puesta en marcha	8.88 días	lun 15/10/12	jue 25/10/12	20	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
pruebas	8.88 días	lun 15/10/12	jue 25/10/12	20	Claudia R.,Hugo Ch.,Luis H.
Informe escrito	118.88 días	lun 02/07/12	jue 13/12/12	31	Claudia R.,Luis H.
redacción	35.88 días	lun 03/09/12	dom 21/10/12		Claudia R.,Luis H.
evaluación del proceso de operación	3.88 días	mar 16/10/12	vie 19/10/12	31	Luis H.
evaluación económica de alternativa	10.88 días	lun 10/09/12	lun 24/09/12	13	Claudia R.
conclusiones	1.88 días	vie 19/10/12	dom 21/10/12	35	Claudia R.,Luis H.
Presentación final	4.88 días	vie 14/12/12	jue 20/12/12	33	Claudia R.,Luis H.
individual	4.88 días	lun 12/11/12	vie 16/11/12	33	Claudia R.,Luis H.
publica	0.88 días	lun 26/11/12	lun 26/11/12	33	Claudia R.,Luis H.

2. Apéndice B: listas de materiales y equipo

Tabla No. 22 Lista de materiales y equipo con especificaciones

Área	Cantidad	Dimensional	Descripción
Torre	1		Placa de Orificio
Instalaciones eléctricas	25		PRENSA ESTOPAS O CONECTOR GLANDULA PLASTICO CON TUERCA 3/4"
Instalaciones eléctricas	10		Abrazadera tipo clevis 1 "
Instalaciones eléctricas	10		clip tipo hangler 1"
Torre	2		ABRAZADERAS DE MANGUERA 1"
Torre	2		ABRAZADERAS DE MANGUERAS 1.5"
Torre	0.5	metros	MANGUERA CORRUGADA 1"
Torre	2	metros	MANGUERA TRANSPARENTE PVC 1/4"
Distribuidores	2	metros	MANGUERA DE HULE 1/8"
Distribuidores	4		plancha Plexiglás 1/20" 9X12
Instalaciones eléctricas	10	metros	Cable TSJ 4 alambres calibre 12
PLC	5	unidades	canaleta eléctrica plástica 40X60MMX2MT ranurada
Cable	20	metros	cable 14 AWG color blanco
Cable	20	metros	cable 14 AWG color verde
Instalaciones eléctricas	14	pies	Tubo LT flexible 3/4"
Instalaciones eléctricas	30		Abrazaderas Omega para uso pesado para tubería de 3/4"
Instalaciones eléctricas	100		Abrazaderas Omega para uso pesado para tubería de 1/2"
Instalaciones eléctricas	3	metros	varilla roscada unicanal de 3/8"
Instalaciones eléctricas	4		tubo conduit de 3/4" X 3MT
Instalaciones eléctricas	15		condulet T de 3/4" con tapadera
Instalaciones eléctricas	1		Riel Unicanal P-1000 perforado 3 MT de largo
Instalaciones eléctricas	3		conectores BX recto 3/8" con abrazadera para cable 3/8"-1/2"
Instalaciones eléctricas	10		tuerca unicanal con resorte de 3/8"
Cable	20	metros	cable 14 AWG color negro
Distribuidores	2	-	botes de vidrio de Reactivo grandes

Continuación Tabla 22

Área	Cantidad	Dimensional	Descripción
Instrumentación	2		Sensor de presión diferencial de gas, indicador
Control	1		Válvula 1/8" NPT Solenoide bobina 110 VAC
Instrumentación	6		RTD sensor de temperatura 3 hilos
Distribuidores	4		machón doble ss 316 npt 1"
Distribuidores	8		unión universal roscada ss316l 1"
Torre	12	metros	Tubo de acero inoxidable 316 SST cedula 40 1"
Torre	1		codos roscado 90 grados para tubo 1"
Distribuidores	2		recipientes Carboy de polietileno capacidad 5 galones
Cable	100	pies	cable beldem 9533
PLC	1		PLC ML1100
Cable	100	metros	cable 18 AWG color azul
Cable	100	metros	cable 18 AWG color rojo
PLC	2		Módulos RTD
PLC	1		Switch Ethernet 4 o 6 puertos rieldin 24 vdc
PLC	1		Contactora
PLC	1		variador de frecuencia
PLC	5		Contactos NC
PLC	8		Contactos NO
PLC	9		Base
PLC	50		Borneras
PLC	20		Topes
PLC	5		bornera de tierra
PLC	1		Braker
PLC	10		Jumper
PLC	10		tapadera doble piso
PLC	1		módulos análogos
PLC	10		tapadera para tierra
PLC	20		Tapadera
PLC	1		Gabinete (600mm de alto x 500mm de ancho y 200mm de fondo)
PLC	1		Fuente de Poder
PLC	2		Braker
PLC	50		borneras doble piso
PLC	10	metros	riel dim

Continuación Tabla 22

Área	Cantidad	Dimensional	Descripción
PLC	2		push button verde
PLC	2		push button rojo
PLC	2		luces piloto verde
PLC	2		luces piloto rojo
PLC	2		base con led roja
PLC	2		base con led verde
PLC	4		selector
PLC	1		botón de emergencia
Torre	1		buje qd para polea
Torre	1		polea Diámetro de 10cm (4") tipo A
Instrumentación	2		Plataforma de pesaje Mettler Toledo PBA220-QB35. Capacidad de 35kg, resolución de 0.01kg, dimensiones de 12"x12".
Instrumentación	2		Indicador Mettler Tolero IND110 para montaje en carril DIN, salida analógica 4-20mA
Cable	50	pies	Cable plataforma-indicador EL-146
Torre	1		faja A 42
Distribuidores	2		reducidor campana de 1" a 1/2"
Torre	1		motor 1 HP de 220V trifásico
Estructura	4	Metros	Tubo perfil cuadrado 3"
Estructura	2	Metros	Tubo perfil cuadrado 2"
Estructura	1	Metros	Tubo perfil cuadrado 1"

Tabla No. 23 Lista de materiales y equipo - Precio total

Descripción	Proveedor	Precio unitario (\$)	Total (\$)	Precio unitario (Q)	Total (Q)
PRENSA ESTOPAS O CONECTOR GLANDULA PLASTICO CON TUERCA 3/4"	Anclo			Q 21.98	Q 549.50
Abrazadera tipo clevis 1 "	Anclo			Q 7.03	Q 70.30
clip tipo hangler 1"	Anclo			Q 1.55	Q 15.50
Cable TSJ 4 alambres calibre 12	Celasa			Q 16.89	Q 168.90
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
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 beldem 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

Continuación Tabla 23

Descripción	Proveedor	Precio unitario (\$)	Total (\$)	Precio unitario (Q)	Total (Q)
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
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 ss 316 npt 1"	Mainco			Q 32.04	Q 128.16
unión universal roscada ss316l 1"	Mainco			Q 121.07	Q 968.56
Tubo de acero inoxidable 316 SST cedula 40 1"	Mainco			Q 107.55	Q 1,290.60
codos roscado 90 grados para tubo 1"	Mainco			Q 44.52	Q 44.52

Continuación Tabla 23

Descripción	Proveedor	Precio unitario (\$)	Total (\$)	Precio unitario (Q)	Total (Q)
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
reducidor 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 Solenoide 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
Plataforma de pesaje Mettler Toledo PBA220-QB35. Capacidad de 35kg, resolución de 0.01kg, dimensiones de 12"x12".	Sipesa	\$425.00	\$850.00		Q 6,630.00
Indicador Mettler Tolero IND110 para montaje en carril DIN, salida analógica 4-20mA	Sipesa	\$600.00	\$1,200.00		Q 9,360.00
Cable plataforma-indicador EL-146	Sipesa	\$3.00	\$150.00		Q 1,170.00
Placa de Orificio	Talleres Hernández			Q 650.00	Q 650.00
botes de vidrio de Reactivo grandes	UVG			Q -	Q -
motor 1 HP de 220V trifásico	UVG				
Tubo perfil cuadrado 3"				Q 248.40	Q 993.60
Tubo perfil cuadrado 2"				Q 174.60	Q 349.20
Tubo perfil cuadrado 1"				Q 86.77	Q 87.77
					Q 63,909.27

Tabla No. 24 Lista de materiales y equipo - Estado de cotización

Descripción	Proveedor	Cotización	Línea	Fecha	Estado cotización
PRENSA ESTOPAS O CONECTOR GLANDULA PLASTICO CON TUERCA 3/4"	Anclo	3976	1	30/04/2012	☺
Abrazadera tipo clevis 1 "	Anclo	3976	1	08/05/2012	☺
clip tipo hangler 1"	Anclo	3976	2	08/05/2012	☺
Cable TSJ 4 alambres calibre 12	Celasa	756619	7	11/04/2012	☺
canaleta eléctrica plástica 40X60MMX2MT ranurada	Celasa	756619	1	10/04/2012	☺
cable 14 AWG color blanco	Celasa	756619	4	10/04/2012	☺
cable 14 AWG color verde	Celasa	756619	7	10/04/2012	☺
Tubo LT flexible 3/4"	Celasa	756619	1	11/04/2012	☺
Abrazaderas Omega para uso pesado para tubería de 3/4"	Celasa	756619	3	11/04/2012	☺
Abrazaderas Omega para uso pesado para tubería de 1/2"	Celasa	756619	2	11/04/2012	☺
varilla roscada unicanal de 3/8"	Celasa	756619	4	11/04/2012	☺
tubo conduit de 3/4" X 3MT	Celasa	756619	5	11/04/2012	☺
condulet T de 3/4" con tapadera	Celasa	756619	6	11/04/2012	☺
Riel Unicanal P-1000 perforado 3 MT de largo	Celasa	756619	8	11/04/2012	☺
conectores BX recto 3/8" con abrazadera para cable 3/8"-1/2"	Celasa	756619	9	11/04/2012	☺
tuerca unicanal con resorte de 3/8"	Celasa	756619	10	11/04/2012	☺
cable 14 AWG color negro	Celasa	756619	6	10/04/2012	☺
buje qd para polea	Componentes Industriales	Por teléfono	-	-	☺
polea Diámetro de 10cm (4'') tipo A	Componentes Industriales	Por teléfono	-	-	☺
recipientes Carboy de polietileno capacidad 5 galones	Dilab	CR-12-05-019	1	08/05/2012	☺
cable beldem 9533	Intek	Email	-	04/05/2012	☺
PLC ML1100	Intek	GT-12-11-1933-1	5	16/05/2012	☺
cable 18 AWG color azul	Intek	GT-12-11-1933-1	2	16/05/2012	☺
cable 18 AWG color rojo	Intek	GT-12-11-1933-1	3	16/05/2012	☺
Módulos RTD	Intek	GT-12-11-1933-1	8	16/05/2012	☺
Switch Ethernet 4 o 6 puertos riel DIN 24 vdc	Intek	GT-12-11-1933-1	1	16/05/2012	☺
Contactador	Intek	GT-12-11-1933-1	6	16/05/2012	☺
variador de frecuencia	Intek	GT-12-11-1933-1	7	16/05/2012	☺

Continuación Tabla 24

Descripción	Proveedor	Cotización	Línea	Fecha	Estado cotización
Contactos NO	Intek	GT-12-11-696-2	18	15/02/2012	☺
Base	Intek	GT-12-11-696-2	16	15/02/2012	☺
Borneras	Intek	GT-12-11-696-2	5	15/02/2012	☺
Topes	Intek	GT-12-11-696-2	8	15/02/2012	☺
bornera de tierra	Intek	GT-12-11-696-2	6	15/02/2012	☺
Breaker	Intek	GT-12-11-696-2	3	15/02/2012	☺
Jumper	Intek	GT-12-11-696-2	9	15/02/2012	☺
tapadera doble piso	Intek	GT-12-11-696-2	12	15/02/2012	☺
módulos análogos	Intek	GT-12-11-696-2	1	15/02/2012	☺
tapadera para tierra	Intek	GT-12-11-696-2	10	15/02/2012	☺
Tapadera	Intek	GT-12-11-696-2	7	15/02/2012	☺
Gabinete (600mm de alto x 500mm de ancho y 200mm de fondo)	Intek	GT-12-11-696-2	25	15/02/2012	☺
Fuente de Poder	Intek	GT-12-11-696-2	2	15/02/2012	☺
Breaker	Intek	GT-12-11-696-2	4	15/02/2012	☺
borneras doble piso	Intek	GT-12-11-696-2	11	15/02/2012	☺
riel DIN	Intek	GT-12-11-696-2	13	15/02/2012	☺
push botón verde	Intek	GT-12-11-696-2	14	15/02/2012	☺
push botón rojo	Intek	GT-12-11-696-2	15	15/02/2012	☺
luces piloto verde	Intek	GT-12-11-696-2	19	15/02/2012	☺
luces piloto rojo	Intek	GT-12-11-696-2	20	15/02/2012	☺
base con led roja	Intek	GT-12-11-696-2	21	15/02/2012	☺
base con led verde	Intek	GT-12-11-696-2	22	15/02/2012	☺
Selector	Intek	GT-12-11-696-2	23	15/02/2012	☺
botón de emergencia	Intek	GT-12-11-696-2	24	15/02/2012	☺
machón doble ss 316 npt 1"	Mainco	COT01 58739	4	12/03/2012	☺
unión universal roscada ss316l 1"	Mainco	COT01 58739	3	12/03/2012	☺
Tubo de acero inoxidable 316 SST cedula 40 1"	Mainco	COT01 58739	1	12/03/2012	☺
codos roscado 90 grados para tubo 1"	Mainco	COT01 58739	2	12/03/2012	☺
ABRAZADERAS DE MANGUERA 1"	MISA	9691	3	23/04/2012	☺
ABRAZADERAS DE MANGUERAS 1.5"	MISA	9691	4	23/04/2012	☺
MANGUERA CORRUGADA 1"	MISA	9691	5	23/04/2012	☺
MANGUERA TRANSPARENTE PVC 1/4"	MISA	9691	6	23/04/2012	☺

Continuación Tabla 24

Descripción	Proveedor	Cotización	Línea	Fecha	Estado cotización
faja A 42	NILS PIRA Y CIA. S.A.	Teléfono	-	-	☺
plancha Plexiglás 1/20" 9X12	Novex	44226	1	11/04/2012	☺
reducidor campana de 1" a 1/2"	Novex	Teléfono	-	-	☺
Sensor de presión diferencial de gas, indicador	Reset	275-2012-Q	1	04/05/2012	☺
Válvula 1/8" NPT Solenoide bobina 110 VAC	Reset	275-2012-Q	2	04/05/2012	☺
RTD sensor de temperatura 3 hilos	Reset	277-2012-Q	1	04/05/2012	☺
Plataforma de pesaje Mettler Toledo PBA220-QB35. Capacidad de 35kg, resolución de 0.01kg, dimensiones de 12"x12".	Sipesa	REF FV-078-2012	2	30/04/2012	☺
Indicador Mettler Tolero IND110 para montaje en carril DIN, salida analógica 4-20mA	Sipesa	REF FV-078-2012	4	30/04/2012	☺
Cable plataforma-indicador EL-146	Sipesa	REF FV-078-2012	5	30/04/2012	☺
Placa de Orificio	Talleres Hernández	1247	1	08/05/2012	☺
botes de vidrio de Reactivo grandes	UVG	-	-	-	☺
motor 1 HP de 220V trifásico	UVG				☺

Tabla No. 25 Lista de materiales y equipo - orden de compra/estado de entrega

Descripción	Proveedor	Orden de compra	Estado entrega
RTD sensor de temperatura 3 hilos	Reset	125783	listo
Sensor de presión diferencial de gas, indicador	Reset	125783	listo
Valvula 1/8" NPT Soleniodo bobina 110 VAC	Reset	125783	listo
Contactos NC	Intek	125886	Vino uno roto
recipientes Carboy de polietileno capacidad 5 galones	Dilab	126222	Finales de octubre
faja A 42	NILS PIRA Y CIA. S.A.		listo
buje qd para polea	Componentes Industriales		listo
polea Diametro de 10cm (4") tipo A	Componentes Industriales		listo
reducidor campana de 1" a 1/2"	Novex		listo
cable 14 AWG color negro	Celasa		
Placa de Orificio	Talleres Hernandez	125786	listo
PRENSA ESTOPAS O CONECTOR GLANDULA PLASTICO CON TUERCA 3/4"	Anclo	125885	listo
Cable TSJ 4 alambres calibre 12	Celasa	125916	listo
cable beldem 9533	Intek	126223	listo
cable 18 AWG color azul	Intek	126225	listo
cable 18 AWG color rojo	Intek	126225	listo
Modulos RTD	Intek	126225	listo
Switch Ethernet 4 o 6 puertos rieldin 24 vdc	Intek	126225	listo
Contactador	Intek	126225	listo
variador de frecuencia	Intek	126225	listo
botes de vidrio de Reactivo grandes	UVG		listo
motor 1 HP de 220V trifásico	UVG		listo
PLC ML1100	Intek	126225	listo
modulos analogos	Intek	125886	listo
plancha Plexiglass 1/20" 9X12	Novex	125784	listo
machon doble ss 316 npt 1"	Mainco	126221	listo
Plataforma de pesaje Mettler Toledo PBA220-QB35. Capacidad de 35kg, resolución de 0.01kg, dimensiones de 12"x12".	Sipesa	125781	listo
Indicador Mettler Tolero IND110 para montaje en carril DIN, salida analógica 4-20mA	Sipesa	125781	listo
Cable plataforma-indicador EL-146	Sipesa	125781	listo
ABRAZADERAS DE MANGUERA 1"	MISA	125785	listo

Continuación Tabla 25

Descripción	Proveedor	Orden de compra	Estado entrega
MANGUERA CORRUGADA 1"	MISA	125785	listo
MANGUERA TRANSPARENTE PVC 1/4"	MISA	125785	listo
MANGUERA DE HULE 1/8"	MISA	125785	listo
machon doble ss 316 npt 1"	Mainco	125787	listo
union universal roscada ss316l 1"	Mainco	125787	listo
Tubo de acero inoxidable 316 SST cedula 40 1"	Mainco	125787	listo
union universal roscada ss316l 1"	Mainco	126221	listo
codos roscado 90 grados para tubo 1"	Mainco	125787	listo
Abrazadera tipo clevis 1 "	Anclo	125885	listo
clip tipo hanger 1"	Anclo	125885	listo
Contactos NO	Intek	125886	listo
Base	Intek	125886	listo
Borneras	Intek	125886	listo
Topes	Intek	125886	listo
bornera de tierra	Intek	125886	listo
Braker	Intek	125886	listo
Jumpers	Intek	125886	listo
tapadera doble piso	Intek	125886	listo
tapadera para tierra	Intek	125886	listo
Tapadera	Intek	125886	listo
Gabinete (600mm de alto x 500mm de ancho y 200mm de fondo)	Intek	125886	listo
Fuente de Poder	Intek	125886	listo
Braker	Intek	125886	listo
borneras doble piso	Intek	125886	listo
riel dim	Intek	125886	listo
push button verde	Intek	125886	listo
canaleta electrica plastica 40X60MMX2MT ranurada	Celasa	125916	listo
cable 14 AWG color blanco	Celasa	125916	listo
cable 14 AWG color verde	Celasa	125916	listo
Tubo LT flexible 3/4"	Celasa	125916	listo
Abrazaderas Omega para uso pesado para tuberia de 3/4"	Celasa	125916	listo
Abrazaderas Omega para uso pesado para tuberia de 1/2"	Celasa	125916	listo

Continuación Tabla 25

Descripción	Proveedor	Orden de compra	Estado entrega
tubo conduit de 3/4" X 3MT	Celasa	125916	listo
condulet T de 3/4" con tapadera	Celasa	125916	listo
Riel Unicanal P-1000 perforado 3 MT de largo	Celasa	125916	listo
conectores BX recto 3/8" con abrazadera para cable 3/8"-1/2"	Celasa	125916	listo
tuerca unicanal con resorte de 3/8"	Celasa	125916	listo
push button rojo	Intek	125886	listo
luces piloto verde	Intek	125886	listo
luces piloto rojo	Intek	125886	listo
base con led roja	Intek	125886	listo
base con led verde	Intek	125886	listo
Selector	Intek	125886	listo
boton de emergencia	Intek	125886	listo

Tabla No. 26 Gastos extra

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
Orion	2		uniones reductoras neumáticas de 1/4" x 1/4" NPT	Q 23.30	Q 46.60
Orion	2		uniones reductoras 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 reductoras 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
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
					Q <u>1,062.66</u>

3. Apéndice C: cotizaciones

Figura No. 38 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:

CANTIDAD	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	PRECIO	TOTAL
25	PRENSA ESTOPAS O CONECTORES GLANDULA PLASTICOS CON TUERCA 3/4"	Q21.98	Q549.50
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 =====>		Q635.30

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 No. 39 Cotización - Celasa

15 (- -)



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

PROFORMA No. 756619 **FECHA:** 08/06/2012

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

CODIGO	CANTIDAD	CATALOGO	DESCRIPCION MERCADERIAS	PRECIO UNITARIO	TOTAL
TBX10	14		TUBO BX LT DE 3/4" (PIE)	6.0400	84.56
A2001	100	HS-901/TH-1801	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	1MC ECD 3/4"	TUBO CONDUIT GALVANIZADO 3/4"X3MT IMPORTADO*	60.2000	240.80
CLT37	15	01-0087-C	CONDULET T DE 3/4" CON TAPADERA*	19.7600	296.40
CSJ14	4	3.31MM2	CABLE TSJ 4X12 (METRO)	16.8900	67.56
CH004	1	00E 4X4 305	RITEL 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
LE604	5	636007	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/66853791			AUTORIZADO POR:	TOTAL	2,704.98

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA - VENDEDOR SALVADOR/66853791

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

Figura No. 40 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 Rodríguez
Asesora de Ventas
Celular 5206-3914

Sala de Ventas
13 Av. 6-20 Zona 9 Ed. Médico
San Lucas, local 106
Quezaltenango
Teléfono: (502) 7736-6241
Tel: (502) 7736-6242

Oficinas Centrales y Sala de Ventas
10a. Calle 5-45, Zona 10
Guatemala, Ciudad 01010
Tel: (502) 2361-9340
Fax: (502) 2361-7848

Sala de Ventas
12 Calle 3-31, Zona 1
Guatemala, Ciudad 01001
Tel: (502) 2251-8671
(502) 2251-8672 y (502) 2251-8680
Fax: (502) 2252-6363

infoventas@dilabsa.com * www.dilabsa.com

"Contribuyendo a la Calidad de sus Resultados"

Figura No. 41 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.2,641.95	Q.2,641.95
2	100	[4510023] CABLE H05V-K 1mm2/18AWG 80°C 500V AZUL (METRO)	Q.2.16	Q.216.00
3	100	4510043 CABLE H05V-K 1mm2/18AWG 80°C 500V ROJO (METRO)	Q.2.61	Q.261.00
4	100	4510053 CABLE H05V-K 1mm2/18AWG 80°C 500V BLANCO (METRO)	Q.2.61	Q.261.00
5	1	1763-L16BWA CONTROLADOR ML1100, 120/240VAC, 6 DI 24VDC, 6 DO RELE, 4 HSC@20KHZ	Q.2,051.20	Q.2,051.20
6	1	100-C08L10 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 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:** DE 4 A 6 SEMANAS DESPUES DE RECIBIDA LA ORDEN DE COMPRA**VALIDEZ DE OFERTA:** 10 DIAS

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 +504 567-8016
intekhn@intek-ca.com

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

Figura No. 42 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-CJ510	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 Tel. +503 2260-8888 (PBX) Fax +503 2260-8855 leksv@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 No. 43 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.278.80
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	[1060.500] 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 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: 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,

INTEK**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 No. 44 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 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:** INMEDIATA SALVO VENTA PREVIA**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,

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 No. 45 Cotización - Mainco, S.A.

**MAINCO, S.A**

08:09:28

15 AV. "A" 5-21 Zona 1 GUATEMALA GUATEMALA
Teléfonos: 23868787 Fax: 23868713www.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:	Dias Habiles	CREDITO:	Dias		
CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	Peso en Kg.	PRECIO	SUBTOTAL
12.00	TUBASTM312304C4010 L PUBLI	TUBO ASTM A 312 SS304 CEDULA 40 1"	2.52	141.76 0 %	1,701.12
1.00	9006 L PUBLI	CODO ROSCADO 90° SS316L 1"	0.15	42.75 0 %	42.75
1.00	34006 L PUBLI	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 No. 46 Cotización - Mangueras Industriales, S.A.


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

Figura No. 47 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	SUBTOTAL	21.00
NOTA PRECIOS YA INCLUYEN IVA	TOTAL (Q)	21.00

NERY MARCOS
VENDEDOR

AUTORIZADO

ACEPTADO

Figura No. 48 Cotización - Reset 1



REPRESENTACION Y SERVICIOS TECNICOS ELECTRONICOS, S.A.



8ª. 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. 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	<p>Transmisor de presión diferencial serie 616 marca Dwyer Instruments, con las siguientes características:</p> <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	<p>Válvula solenoide marca ASCO, con las siguientes características:</p> <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 No. 49 Cotización - Reset 2



REPRESENTACION Y SERVICIOS TECNICOS ELECTRONICOS, S.A.

8ª. 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) 24409841 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 No. 50 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 No. 51 Cotización - Talleres Hernandez

	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				
■ 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.				
Precio.....Q650.00				
Esperando que la presente satisfaga su necesidad de inversión y en espera de una respuesta favorable, quedo de usted.				
Atentamente,				
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	

ORIGINAL (8) Cliente - DUPLICADO (4) Contabilidad - TRIPPLICADO (3) Archivo
 Reg. NIFPEESA • 2251-6490 • Ref. 16.02.0110 - ja -

Tabla No. 27 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 No. 28 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 No. 52 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 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 RS845 (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 No. 53 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

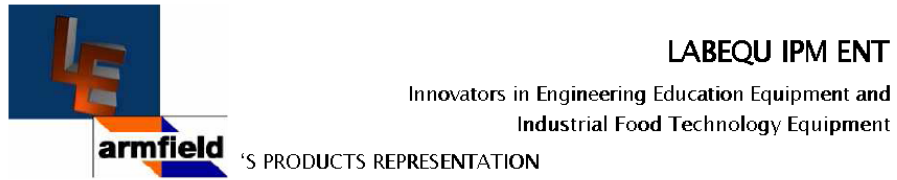
Tiempo de entrega: 35 días

Garantía: 1 año sobre mano de obra y partes mecánicas

Atentamente

JOSE QUEME

Figura No. 54 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 No. 55 Cotización – 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 No. 56 Cotización - Compra directa (precio CIF Guatemala)

COTIZACIÓN COMERCIAL No.2

No.	Codigo	Descripción	Cantidad	Precio FOB UK (USD)	Volumen Paquete (m ³)	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 No. 57 Compra directa - especificaciones técnicas (página 1 de 4)

	<p>PRINCIPIOS DE PROCESO BÁSICOS</p>	<p>Todos los productos Armfield se suministran con una Garantía Extendida de dos años</p>	
<p>CES Columna de absorción de gas de pared mojada - Versión 5</p>		<p>HOJA DE DATOS</p>	
<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. Este 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>CATEGORÍA DEL PRODUCTO: Enseñanza de Ingeniería</p>	
<p>Especificación para pedidos Posibilidades de demostración Descripción Especificación técnica Experimentos típicos Equipos auxiliares Requisitos Especificación de transporte y dimensiones</p>		<p>CONSULTAR</p>	
<p>ESPECIFICACIÓN PARA PEDIDOS</p>		<p>Descargar <input type="button" value="ESPECIFICACIÓN PARA PEDIDOS (formato Word)"/> <input type="button" value="Imprimir esta hoja de datos"/></p>	
<p>Equipo 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: - 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>		<p>Serie Principios Básicos De Procesos</p>	
<p>REQUISITOS</p>		<ul style="list-style-type: none"> <input type="button" value="CEK Estudios de mezcla de fluidos"/> <input type="button" value="CEL Equipo de Lechos fijos y fluidizados"/> <input type="button" value="CEN Mkk Estudio de tratamiento de sólidos"/> <input type="button" value="CEQ Kit para estudios de corrosión"/> <input type="button" value="CERa/CERb Coeficientes de transferencia de masa y difusión"/> <input type="button" value="CES Columna de absorción de gas de pared húmeda"/> <input type="button" value="CEU Reactores catalíticos"/> <input type="button" value="CEX Equipos de enseñanza de reactores químicos"/> <input type="button" value="CEY Reactor Flujo Pistón"/> <input type="button" value="CEZ Reactor Flujo Laminar"/> <input type="button" value="CEXC Computer controlled Chemical Reactor Teaching Equipment"/> 	
<p>POSIBILIDADES DE DEMOSTRACIÓN</p>			
<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>REQUISITOS</p>			
<p>EXPERIMENTOS TÍPICOS</p>			
<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>			
<p>$(Sh) = f(Sc)^{1/2}(Ga)^{1/6}(Re)^n$ That is, for a given gas/liquid system: $(Sh) \propto$</p>			
<p>para diversos caudales de oxígeno (en forma de aire) es posible determinar una</p>			

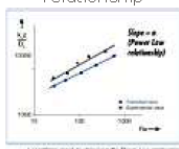
Figura No. 58 Compra directa - especificaciones técnicas (página 2 de 4)

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.

RRIB

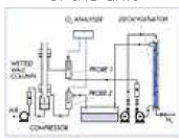
DESCRIPCIÓN

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 aquella. □ 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.

RRIB

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 No. 59 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
CRRIBC
EQUIPOS AUXILIARES
Cilindro de nitrógeno gaseoso comprimido con regulador de presión (no suministrado).
CRRIBC
REQUISITOS
Suministro eléctrico:
CES-A: 220/240V, monofásico, 50Hz
CES-B: 120V, monofásico, 60Hz
CRRIBC
ESPECIFICACIÓN DE TRANSPORTE
Volumen: 2.1m ³
Peso bruto: 252kg
CRRIBC
DIMENSIONES TOTALES

Figura No. 60 Compra directa - especificaciones técnicas (página 4 de 4)

Armfield - innovadores en equipos educativos de ingeniería

Página 4 de 4

Altura: 2.5m
Anchura: 1.0m
Profundidad: 0.5m
ARRIBC

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

4. Apéndice D: Propiedades físicas de los líquidos utilizados

- Presión de vapor para líquidos

Para obtener la presión de vapor a diferentes temperaturas se utiliza la siguiente expresión obtenida del Perry.

$$Pv = \exp[C1 + (C2/T + C3 \times \ln(T) + C4 \times T^{C5})]$$

Las constantes son las siguientes

Tabla No. 29 Constantes para obtener la presión de vapor

Líquidos	C1	C2	C3	C4	C5
Metanol	81.768	-6876	-8.7078	7.1926×10^{-6}	2
Etanol	74.475	-7164.3	-7.327	3.134×10^{-6}	2
2-propanol	76.964	-7623.8	-7.4924	5.9436×10^{-18}	6
Agua	73.649	-7258.2	-7.3037	4.1653×10^{-6}	2

(Perry & Green, 1997)

En donde Pv se expresa en Pa y la temperatura en K.

- Entalpía de vaporización para líquidos

Para obtener la entalpía de vaporización a diferentes temperaturas se utiliza la siguiente expresión obtenida del Perry.

$$\Delta H_v = C1 \times (1 - Tr)^{C2 + C3 \times Tr + C4 \times Tr^2}$$

Las constantes son las siguientes

Tabla No. 30 Constantes para obtener la entalpía de vaporización

Líquidos	C1	C2	C3	C4
Metanol	5.2390×10^7	0.3682	0	0
Etanol	5.69×10^7	0.3359	0	0
2-propanol	6.3080×10^7	0.3921	0	0
Agua	5.2053×10^7	0.3199	-0.212	0.25795

(Perry & Green, 1997)

En donde $Tr = T/T_C$, ΔH_v se expresa en J/kmol y la temperatura en K.

Tabla No. 31 Temperatura crítica para diferentes líquidos

Líquidos	Temperatura crítica, Tc (K)
Metanol	512.6
Etanol	513.9
2-propanol	508.3
Agua	674.1

(Perry & Green, 1997)

Tabla No. 32 Densidad del aire a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)
10	1.2476
12	1.2431
12	1.2381
13	1.2339
14	1.2297
15	1.2256
16	1.2213
17	1.2168
18	1.2130
19	1.2086
20	1.2044
21	1.2006
22	1.1961
23	1.1920
24	1.1880
25	1.1839
26	1.1800
27	1.1763
28	1.1725
29	1.1687
30	1.1650

(Perry & Green, 1997)

Tabla No. 33 Viscosidad del aire a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Viscosidad x 10 ⁷ (poise)
10	1700
20	1812
30	1850
40	1890

(Perry & Green, 1997)

Tabla No. 34 Difusividad para diferentes líquidos en el aire a 25 °C

Líquido	D_{AB} (m ² /s)
Agua	2.58×10^{-5}
Etanol	1.06×10^{-5}
2-Propanol	0.999×10^{-5}
Metanol	1.40×10^{-5}

(Sherwood, 1952)

- Densidad de diferentes líquidos a diferentes temperaturas

Para obtener la densidad de los líquidos se utiliza la siguiente expresión obtenida del Perry.

$$C1 / C2 [1 + (1 - T / C3)^{C4}]$$

Las constantes son las siguientes

Tabla No. 35 Constantes para obtener densidad de los líquidos a utilizar

Líquido	C1	C2	C3	C4
Agua	5.459	0.30542	647.13	0.081
Metanol	2.288	0.2685	512.64	0.2453
Etanol	1.648	0.27627	513.92	0.2331
2-propanol	1.24	0.27342	508.3	0.2353

(Perry & Green, 1997)

La densidad se expresa en kmol/m³ y la temperatura en K.

Tabla No. 36 Pesos moleculares para líquidos a utilizar

Líquido	Peso molecular (kg/kmol)
Agua	18.015
Metanol	32.042
Etanol	46.069
2-propanol	60.096

(Perry & Green, 1997)

5. Apéndice E: Datos originales

Tabla No. 37 Datos teóricos para fricción en la torre

Caída de presión en placa de orificio en pulgadas de agua	Velocidad del aire (m/s)	Caída de presión en la torre en pulgadas de agua
0.17	1	0.111
0.26	1.25	0.139
0.38	1.5	0.169
0.52	1.75	0.202
0.68	2	0.236
0.85	2.25	0.273
1.06	2.5	0.313
1.28	2.75	0.354
1.52	3	0.398
1.78	3.25	0.444
2.07	3.5	0.493
2.37	3.75	0.544
2.70	4	0.597
3.05	4.25	0.653
3.42	4.5	0.710
3.81	4.75	0.770
4.22	5	0.833
4.65	5.25	0.898
5.11	5.5	0.965
5.58	5.75	1.034

Tabla No. 38 Masas iniciales y finales para cada corrida con diferentes líquidos

Líquido	Masa Inicial (kg)	Masa final (kg)
Agua	22.50	21.65
Metanol	15.30	14.59
Etanol	18.80	18.09
2-propanol	18.50	17.84

Tabla No. 39 Datos de transferencia de masa para agua como líquido a utilizar

Corrida	Velocidad aire (m/s)	Parte superior torre			Parte inferior torre		
		Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)
1	2	24.4	25.4	23.5	23.5	24.9	21.72
2	2.25	24.4	25.9	24.6	23.5	24.9	21.49
3	2.5	24.4	25.9	24.5	23.6	25.0	21.59
4	2.75	24.4	25.9	23.5	23.7	24.8	21.61
5	3	23.9	26.0	23.6	23.7	24.6	21.42
6	3.25	24.1	26.1	23.7	23.8	24.7	20.97
7	3.5	24.2	26.2	23.7	23.8	24.6	20.96
8	3.75	24.3	26.3	23.9	23.8	24.7	21.06
9	4	24.4	26.4	23.9	23.8	24.7	22.2
10	4.25	24.6	26.4	23.9	23.9	24.6	22.23
11	4.5	24.3	26.3	23.9	23.9	24.6	21.59
12	5	24.3	26.3	23.9	23.9	24.7	21.61
13	5.25	24.3	26.4	23.9	23.9	24.7	21.42
14	5.5	24.3	26.4	23.9	23.9	24.6	21.47

Tabla No. 40 Datos de transferencia de masa para etanol como líquido a utilizar

Corrida	Velocidad aire (m/s)	Parte superior torre			Parte inferior torre		
		Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)
1	5.5	22.86	19.39	18.19	15.56	16.38	16.01
2	5	22.90	18.35	17.15	15.56	16.42	15.87
3	4.5	22.90	18.13	16.86	15.56	16.88	16.11
4	4.25	22.86	18.06	16.76	15.57	17.12	16.30
5	4	22.85	17.99	16.72	15.55	17.44	16.62
6	3.75	22.88	18.02	16.81	15.55	17.58	16.81
7	3.5	22.85	18.19	17.20	15.55	17.85	17.05
8	3.25	22.85	18.31	17.41	15.55	17.94	17.08
9	4.75	22.86	18.07	17.22	15.56	18.04	17.19
10	5.25	22.85	17.63	16.64	15.56	17.77	17.17
11	3	22.85	18.18	17.25	15.57	17.77	17.17

Tabla No. 41 Datos de transferencia de masa para 2-propanol como líquido a utilizar

Corrida	Velocidad aire (m/s)	Parte superior torre			Parte inferior torre		
		Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)
1	4	24.0	20.3	17.8	15.0	22.7	22.2
2	3.5	24.0	21.8	18.3	15.5	22.7	22.2
3	3.75	24.5	24.3	17.3	16.0	23.7	23.2
4	3.25	24.5	25.3	17.8	16.0	23.7	23.2
5	2.75	25.0	25.3	17.8	17.0	23.2	22.7
6	2.25	25.0	25.3	18.3	17.0	23.7	23.2
7	1.75	25.0	25.8	18.8	16.0	23.7	23.2
8	4.25	24.8	24.3	16.3	16.0	22.7	22.2
9	4.3	24.0	22.3	17.3	15.0	22.7	22.2
10	3.5	25.0	25.3	17.8	16.0	23.7	23.2
11	3	24.0	25.3	18.3	16.0	22.7	22.2
12	2.5	24.0	25.3	18.3	17.0	22.7	22.2
13	2	24.0	26.3	19.3	18.0	22.7	22.2
14	1.5	24.5	25.8	19.3	17.0	23.7	23.2
15	2.5	25.0	25.3	17.3	16.0	23.7	23.2
16	3	25.0	24.8	17.3	15.5	23.7	23.2
17	2.75	25.0	25.3	16.8	15.5	23.7	23.2
18	2.25	25.5	25.3	17.3	16.0	23.7	23.2
19	3.75	25.5	24.3	16.8	15.5	23.7	23.2
20	3.25	25.5	24.8	16.8	15.5	23.7	23.2

Tabla No. 42 Datos de transferencia de masa para metanol como líquido a utilizar

Corrida	Velocidad aire (m/s)	Parte superior torre			Parte inferior torre		
		Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)
1	4.6	20.0	15.5	14.0	5.5	15.2	15.2
2	3.3	21.5	16.0	14.5	8.0	15.8	6.6
3	3.1	20.0	17.0	15.5	7.0	16.7	9.4
4	3.05	20.0	17.0	15.5	7.0	16.7	9.4
5	2.8	21.5	17.0	16.0	8.0	16.8	8.6
6	2.5	20.0	18.0	16.5	7.0	17.0	10.0
7	2.3	21.0	17.0	16.0	7.5	18.0	11.0
8	2.1	19.0	18.0	16.2	6.0	17.0	10.0
9	1.8	21.0	17.0	15.5	7.5	18.0	11.0
10	1.5	19.0	18.0	16.0	6.0	17.0	10.0

6. Apéndice F: Cálculo de muestra

- Cálculo de fricción en sección mojada

A partir de la ecuación de Bernoulli se logra escribir la siguiente ecuación que aplica para la sección mojada de la torre.

$$\frac{P_a}{\rho} + g * Z_a + \frac{V_a^2}{2} = \frac{P_b}{\rho} + g * Z_b + \frac{V_b^2}{2} + h_f$$

Ecuación No. 21

en donde:

sub índice a: parte inferior de la torre

sub índice b: parte superior de la torre

h_f : pérdidas de fricción entre el punto a y b

Ya que la velocidad no cambia entre el punto a y b se vuelve a escribir la Ecuación No. 21 de la siguiente manera.

$$\frac{P_a - P_b}{\rho} + g * (Z_a - Z_b) = h_f$$

Ecuación No. 22

Las pérdidas de fricción se pueden expresar de la siguiente forma.

$$h_f = h_{ff} + h_{fs}$$

en donde

h_{ff} : pérdidas de fricción debido a válvulas y accesorios

h_{fs} : pérdidas de fricción en tramos rectos de tubería

Cada una de estas pérdidas puede expresarse con las siguientes ecuaciones:

$$h_{ff} = \frac{K_f V_a^2}{2}$$

Ecuación No. 23

en donde

K_f : coeficiente de fricción para cada accesorio

$$h_{fs} = \frac{4fV_a^2L}{2D}$$

Ecuación No. 24

en donde

f : factor de fricción de fanning

Reescribiendo la Ecuación No. 22 se tiene

$$\frac{P_a - P_b}{\rho} + g * (Z_a - Z_b) = \frac{K_f V_a^2}{2} + \frac{4f V_a^2 L}{2D}$$

Ecuación No. 25

Despejando el factor de fricción de fanning se obtiene

$$\frac{\left[\frac{P_a - P_b}{\rho} + g * (Z_a - Z_b) - \frac{K_f V_a^2}{2} \right] 2D}{4V_a^2 L} = f$$

Tomando el valor $K_f=11$, del trabajo de graduación: Montaje de una torre de paredes mojadas para realizar prácticas de transferencia de masa. (Ramos, 1997)

Como ejemplo de calculo se sustituyen los valores de la corrida 1 de la Tabla No. 37, pág. No. 127 como sigue

$$\frac{\left[\frac{0.111 \text{ " agua}}{\left(\frac{1 \text{ " agua}}{249.08 \text{ Pa}} * 0.985 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} + 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * -2.08 \text{ m} - \frac{11 * (1 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} \right] 2 * 0.0312 \text{ m}}{4 * (1 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 * 2.08 \text{ m}} = f$$

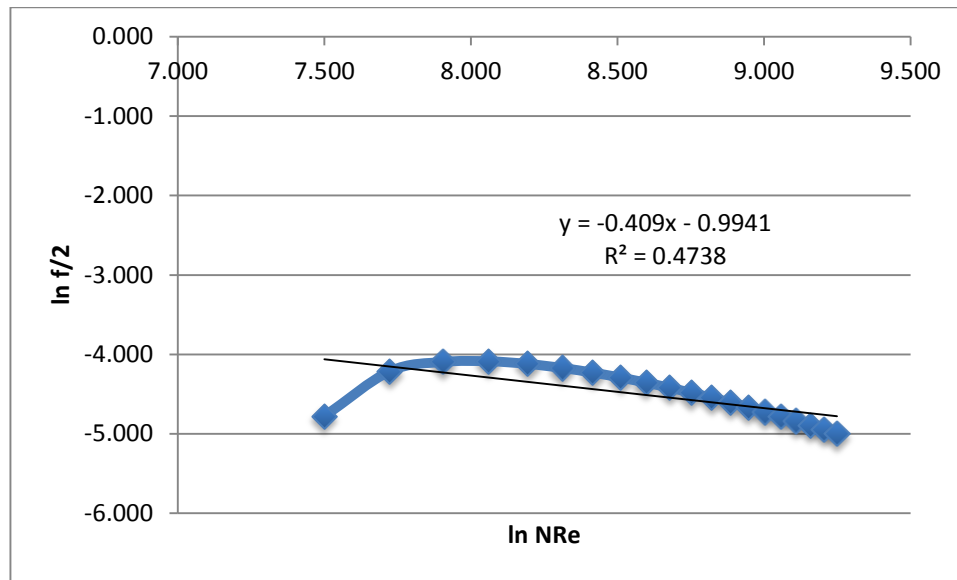
$$f = 0.017$$

De igual forma se obtuvieron los demás valores para las otras corridas, los datos calculados se pueden observar en la Tabla No. 43, Pág. No. 139.

Teniendo el valor del coeficiente de fricción de Fanning se toma la ecuación de fricción para tubos lisos, con esta se logra correlacionar los datos con un error mínimo. La ecuación teórica para la fricción de superficie es $\left(\frac{f}{2}\right) = 0.023 N_{Re}^{-0.2}$. Esta ecuación tiene la forma $\left(\frac{f}{2}\right) = a N_{Re}^b$ entonces se aplica logaritmo natural en ambos lados, obteniendo: $\ln\left(\frac{f}{2}\right) = \ln a + b \ln N_{Re}$, que es una línea recta de la forma $y = b + mx$.

La gráfica obtenida al graficar $\ln(f/2)$ vs. $\ln N_{Re}$ fue la siguiente.

Gráfica No. 10 Regresión lineal para obtener ecuación experimental para fricción de superficie



Aplicando una regresión lineal se obtiene la siguiente ecuación $y = -0.409x - 0.9941$, entonces la expresión experimental para fricción de superficie es $(f/2) = 0.37N_{Re}^{-0.409}$.

- Cálculo de caudal y flujo másico del aire

A partir de la velocidad del aire, la temperatura y densidad se logra obtener el caudal y flujo másico del aire. Tomando como muestra de cálculo los valores de la corrida 1 de la tabla Tabla No. 39, Pág. No. 128 se tiene:

Un área transversal en el tubo de vidrio de 0.000765 m^2 , una velocidad de 2.0 m/s a una temperatura promedio de $25.15 \text{ }^\circ\text{C}$. A esta temperatura se tiene una densidad del aire de 1.183 kg/m^3 , entonces el caudal es

$$q = (2.0 \text{ m/s})(0.000765 \text{ m}^2) = 0.0015 \text{ m}^3/\text{s}$$

y el flujo másico es

$$\dot{m} = q \times \rho = (0.0015 \text{ m}^3/\text{s})(1.183 \text{ kg/m}^3) = 0.0018 \text{ kg/s}$$

A la temperatura promedio de $25.15 \text{ }^\circ\text{C}$ se tiene una viscosidad de $1.83 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$, con esta se obtiene también el número de Reynolds a partir de la Ecuación No. 12 como sigue

$$N_{Re} = \frac{\rho \bar{V} d}{\mu} = \frac{(1.183 \text{ kg/m}^3)(2.0 \text{ m/s})(0.0312 \text{ m})}{(1.83 \times 10^{-5} \text{ kg/ms})} = 4031$$

De igual manera se calculó para todas las demás corridas.

- Cálculo de humedad en el líquido

Tomando como muestra de cálculo los valores de la corrida 1 de la Tabla No. 39 pág. No. 128 se tiene que para agua-aire el peso molecular es $M_A = 18.02 \text{ kg/kmol}$, $M_B = 29.0 \text{ kg/kmol}$ respectivamente. Tomando de la Tabla No. 2 pág. No. 27 se tiene una relación psicrométrica de 0.95 kJ/kg K . Las propiedades físicas utilizadas en los demás cálculos se encuentran en Apéndice D: Propiedades físicas de los líquidos utilizados pág. No.124 .

El líquido, está a temperatura de saturación por lo que utilizando la Ecuación No. **19** se obtiene la humedad. Primero es necesario determinar la presión de vapor del líquido utilizando los valores descritos en Apéndice D: Propiedades físicas de los líquidos utilizados. Para la parte superior de la torre se tiene un valor de 3142.1 Pa , entonces sustituyendo se tiene

$$Y_{L1} = \frac{p_A}{p_t - p_A} \frac{M_A}{M_B} = \frac{3035 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa} - 3035 \text{ Pa}} \frac{18.02 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{29.0 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 0.0192 \text{ kg agua/kg aire seco}$$

- Cálculo de humedad en el gas

La humedad en el gas se obtiene a partir de la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo. Como la temperatura de bulbo húmedo es de saturación Y_w se calcula por el mismo procedimiento que en los líquidos, $Y_{w1} = 0.0181$ para la parte superior de la torre.

Se obtiene también la entalpía de vaporización del líquido a la temperatura de bulbo húmedo utilizando las propiedades físicas que se encuentran en Apéndice D: Propiedades físicas de los líquidos utilizados, Pág. No.124. En este caso la entalpía de vaporización es 2461.53 kJ/kg para la parte superior de la torre.

Ahora sustituyendo en la Ecuación No. **20** y despejando para Y' se tiene

$$Y_{G1} = Y'_{w1} - \frac{h_G/k_Y (t_G - t_w)}{\lambda_w} = 0.0181 - \frac{0.95 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (298.4 \text{ K} - 296.5 \text{ K})}{2461.53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$Y_{G1} = 0.0174 \text{ kg agua/kg aire seco}$$

De igual forma se calcula para la parte inferior de la torre y para todas las demás corridas. En el caso de los alcoholes el valor de Y_{G2} es cero ya que en el aire no se tiene concentración de estos.

Entonces se tiene para esta corrida $Y_{G1} = 0.0174 \text{ kg agua/kg aire seco}$, $Y_{G2} = 0.0150 \text{ kg agua/kg aire seco}$, $Y_{L1} = 0.019'' \text{ kg agua/kg aire seco}$ y $Y_{L2} = 0.0181 \text{ kg agua/kg aire seco}$.

La humedad absorbida por el aire es de

$$Y_{G1} - Y_{G2} = 0.0174 \text{ kg agua/kg aire seco} - 0.0150 \text{ kg agua/kg aire seco} = 0.0023 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}$$

- Flux de masa transferida

El flux de masa transferida se obtiene a partir de la diferencia de entre las humedades y la relación con el área de transferencia de masa.

$$W_A = k_y \Delta Y_A = \frac{\dot{m}(Y_{G1} - Y_{G2})}{A}$$

Ecuación No. 26

$$W_A = \frac{(6.513 \text{ kg/h}) \left(0.0023 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}} \right)}{0.1764 \text{ m}^2} = 0.086 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

El gradiente de humedad, que provoca la transferencia de masa, se considera que es una media logarítmica entre las humedades del líquido y las humedades del aire.

$$\Delta Y_{log} = \frac{(Y_{G1} - Y_{L1}) - (Y_{G2} - Y_{L2})}{\ln \frac{(Y_{G1} - Y_{L1})}{(Y_{G2} - Y_{L2})}} = 0.0024$$

Ahora despejando k_y de la Ecuación No. 26 se tiene

$$k_y = \frac{W_A}{\Delta Y_A} = \frac{0.086}{0.0024} = 36.348 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

El coeficiente F se calcula directamente a partir de k_y y el peso molecular del aire

$$F = \frac{k_y}{M_B} = \frac{36.348}{29} = 1.253 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

De igual forma se obtienen los coeficientes para las demás corridas y para los otros líquidos.

- Análisis dimensional

Primero se obtiene el número de Schmidt tomando la Ecuación No. 11 como sigue

$$N_{Sc} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = 0.5996$$

luego se obtiene el número de Sherwood tomando la Ecuación No. 10 como sigue

$$N_{Sh} = \frac{k_Y R T d}{M_B p_t D_{AB}} = 10.293$$

Teniendo los números adimensionales se sabe que la ecuación que los relaciona es la siguiente

$$N_{Sh} = a N_{Re}^b N_{Sc}^c$$

aplicando logaritmo natural en ambos lados, se obtiene: $\ln N_{Sh} = \ln a + b \ln N_{Re} + c \ln N_{Sc}$ que es una ecuación multi lineal de la forma $y = a + bx_1 + cx_2$. Aplicando una regresión multi lineal con Excel se obtienen los coeficientes.

$$a = 0.028$$

$$b = 0.79$$

$$c = 0.69$$

Por lo que la ecuación experimental es la siguiente:

$$N_{Sh} = 0.028 N_{Re}^{0.79} N_{Sc}^{0.69}$$

De igual forma se obtiene para las demás corridas.

- Correlación de datos experimentales con ecuación de transferencia de masa obtenida

Para poder determinar la correlación de los coeficientes de transferencia de masa obtenidos se obtuvo la correlación lineal transformando la ecuación de transferencia de masa como sigue

$$\frac{N_{Sh}}{N_{Sc}^{0.69}} = 0.028 N_{Re}^{0.79}$$

ahora se aplica logaritmo natural en ambos lados de la ecuación, para obtener una ecuación de la forma $y = b + mx$.

$$\ln\left(\frac{N_{Sh}}{N_{Sc}^{0.69}}\right) = \ln(0.028) + 0.79 \ln N_{Re}$$

Teniendo definida la ecuación de esta manera se toma el grupo de datos experimentales y por medio de la correlación lineal de Pearson se obtiene que la correlación lineal es de 0.348 para los datos obtenidos con agua.

- Coeficiente de transferencia de masa a partir de diferencia de masa con balanzas

Tomando los datos para la corrida del agua de la Tabla No. 38, Pág. No. 127 se tiene:

$$\text{Masa inicial} - \text{Masa final} = \text{Líquido transferido}$$

Ecuación No. 27

$$22.5 \text{ kg} - 21.654 \text{ kg} = 0.846 \text{ kg}$$

este valor se le debe restar la cantidad de masa que se pierde en el distribuidor, para el agua es de 0.784 kg.

$$0.846 \text{ kg} - 0.784 \text{ kg} = 0.062 \text{ kg}$$

Tomando en cuenta que el tiempo de duración para cada corrida fue de 1 hora, el área de transferencia de masa, que es el área del tubo de vidrio, es de 0.00076 m^2 . Se calculó el coeficiente de transferencia de masa

$$\frac{0.062 \text{ kg}}{1 \text{ h} * 0.00076 \text{ m}^2} = 81.09 \frac{\text{kg}}{\text{h m}^2}$$

- Prueba Q

Para determinar si alguno de los resultados obtenidos era un dato incorrecto, se utilizó la prueba Q para decidir si se descartaba o no el resultado.

Se toma como ejemplo la corrida 2 de la Tabla No. 55 en donde el número de Sherwood obtenido fue de 64.177, ordenando los datos de mayor a menor se obtiene el Q_{exp} .

$$Q_{exp} = \frac{|73.993 - 24.288|}{|64.177 - 47.667|} = 0.332$$

(Skoog, 2005)

Tomando $Q_{crit}=0.300$ para 20 observaciones con un 90% de confianza se ve que $Q_{exp} > Q_{crit}$, entonces se rechaza el dato.

De igual manera se realizó con los valores de todas las corridas experimentales.

7. Apéndice G: Datos calculados

Tabla No. 43 Datos calculados para fricción en la torre de pared mojada

Velocidad	Caída de presión en la torre (" H ₂ O)	Caída de presión en la torre (Pa)	N _{Re}	Factor fricción Fanning	f/2	ln(f/2)	ln Nre
1	0.111	27.723	1807.765	0.017	0.008	-4.780	7.500
1.25	0.139	34.636	2259.706	0.030	0.015	-4.213	7.723
1.5	0.169	42.126	2711.647	0.033	0.017	-4.096	7.905
1.75	0.202	50.191	3163.588	0.034	0.017	-4.087	8.059
2	0.236	58.833	3615.529	0.032	0.016	-4.120	8.193
2.25	0.273	68.050	4067.471	0.031	0.015	-4.171	8.311
2.5	0.313	77.844	4519.412	0.029	0.015	-4.230	8.416
2.75	0.354	88.213	4971.353	0.027	0.014	-4.293	8.511
3	0.398	99.159	5423.294	0.026	0.013	-4.357	8.598
3.25	0.444	110.680	5875.235	0.024	0.012	-4.421	8.679
3.5	0.493	122.778	6327.176	0.023	0.011	-4.484	8.753
3.75	0.544	135.451	6779.118	0.021	0.011	-4.547	8.822
4	0.597	148.701	7231.059	0.020	0.010	-4.608	8.886
4.25	0.653	162.526	7683.000	0.019	0.009	-4.668	8.947
4.5	0.710	176.928	8134.941	0.018	0.009	-4.726	9.004
4.75	0.770	191.905	8586.882	0.017	0.008	-4.784	9.058
5	0.833	207.459	9038.824	0.016	0.008	-4.840	9.109
5.25	0.898	223.588	9490.765	0.015	0.007	-4.895	9.158
5.5	0.965	240.294	9942.706	0.014	0.007	-4.949	9.205
5.75	1.034	257.575	10394.647	0.013	0.007	-5.003	9.249

Tabla No. 44 Datos calculados transferencia de masa para agua

Corrida	Velocidad aire (m/s)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Presión de vapor líquido (Pa)	Presión de vapor húmedo (Pa)	Tr	T _{prom.}	Parte superior torre				Parte inferior torre			
									Entalpía vaporización (kJ/kg)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Presión de vapor líquido (Pa)	Presión de vapor húmedo (Pa)	Tr	Entalpía vaporización (kJ/kg)
1	2	24.4	25.4	23.5	3035.0	2871.5	0.44	25.15	2461.53	23.5	24.9	21.7	2871.5	2576.9	0.437	2464.78
2	2.25	24.4	25.9	24.6	3035.0	3071.5	0.44	25.42	2459.47	23.5	24.9	21.5	2876.7	2540.8	0.437	2465.20
3	2.5	24.4	25.9	24.5	3035.0	3047.7	0.44	25.43	2459.71	23.6	25.0	21.6	2888.9	2556.4	0.437	2465.02
4	2.75	24.4	25.9	23.5	3035.0	2871.5	0.44	25.37	2461.53	23.7	24.8	21.6	2897.6	2559.6	0.437	2464.98
5	3	23.9	26.0	23.6	2948.7	2888.9	0.44	25.33	2461.34	23.7	24.6	21.4	2906.3	2529.9	0.437	2465.33
6	3.25	24.1	26.1	23.7	2973.6	2906.3	0.44	25.39	2461.16	23.8	24.7	21.0	2915.1	2460.9	0.436	2466.15
7	3.5	24.2	26.2	23.7	2987.9	2906.3	0.44	25.39	2461.16	23.8	24.6	21.0	2918.6	2459.3	0.436	2466.17
8	3.75	24.3	26.3	23.9	3004.1	2932.7	0.44	25.48	2460.88	23.8	24.7	21.1	2923.9	2474.5	0.436	2465.99
9	4	24.4	26.4	23.9	3035.0	2932.7	0.44	25.56	2460.88	23.8	24.7	22.2	2931.0	2653.6	0.438	2463.91
10	4.25	24.6	26.4	23.9	3066.0	2938.0	0.44	25.53	2460.83	23.9	24.6	22.2	2943.4	2658.4	0.438	2463.85
11	4.5	24.3	26.3	23.9	3004.1	2932.7	0.44	25.44	2460.88	23.9	24.6	21.6	2943.4	2556.4	0.437	2465.02
12	5	24.3	26.3	23.9	3004.1	2932.7	0.44	25.48	2460.88	23.9	24.7	21.6	2943.4	2559.6	0.437	2464.98
13	5.25	24.3	26.4	23.9	3004.1	2938.0	0.44	25.57	2460.83	23.9	24.7	21.4	2943.4	2529.9	0.437	2465.33
14	5.5	24.3	26.4	23.9	3004.1	2938.0	0.44	25.53	2460.83	23.9	24.6	21.5	2943.4	2537.7	0.437	2465.24

Tabla No. 45 Datos calculados coeficientes transferencia de masa para agua

Corrida	YL1 (kg agua/kg aire seco)	YL2 (kg agua/kg aire seco)	Yw1	Yw2	YG1	YG2	ΔY	q(m3/s)	m (kg/s)	m (kg/h)	flux (kg/m2h)	ΔY log	kY (kg//m2h)	F (kmol/m2h)
1	0.0192	0.0181	0.0181	0.0162	0.0174	0.0150	0.0023	0.0015	0.0018	6.513	0.086	0.0024	36.348	1.253
2	0.0192	0.0182	0.0194	0.0160	0.0189	0.0147	0.0042	0.0017	0.0020	7.321	0.175	0.0012	141.195	4.869
3	0.0192	0.0182	0.0193	0.0161	0.0187	0.0148	0.0039	0.0019	0.0023	8.134	0.181	0.0015	123.901	4.272
4	0.0192	0.0183	0.0181	0.0161	0.0172	0.0149	0.0023	0.0021	0.0025	8.949	0.115	0.0026	43.887	1.513
5	0.0186	0.0183	0.0182	0.0159	0.0173	0.0147	0.0026	0.0023	0.0027	9.764	0.143	0.0023	62.480	2.154
6	0.0188	0.0184	0.0183	0.0155	0.0174	0.0140	0.0034	0.0025	0.0029	10.575	0.203	0.0026	78.416	2.704
7	0.0189	0.0184	0.0183	0.0155	0.0174	0.0141	0.0033	0.0027	0.0032	11.389	0.215	0.0027	80.062	2.761
8	0.0190	0.0185	0.0185	0.0156	0.0176	0.0142	0.0034	0.0029	0.0034	12.199	0.235	0.0026	90.803	3.131
9	0.0192	0.0185	0.0185	0.0167	0.0175	0.0158	0.0017	0.0031	0.0036	13.009	0.128	0.0021	59.944	2.067
10	0.0194	0.0186	0.0186	0.0167	0.0176	0.0159	0.0017	0.0032	0.0038	13.823	0.133	0.0022	59.463	2.050
11	0.0190	0.0186	0.0185	0.0161	0.0176	0.0150	0.0026	0.0034	0.0041	14.641	0.216	0.0023	92.170	3.178
12	0.0190	0.0186	0.0185	0.0161	0.0176	0.0150	0.0026	0.0038	0.0045	16.266	0.240	0.0023	102.330	3.529
13	0.0190	0.0186	0.0186	0.0159	0.0176	0.0147	0.0029	0.0040	0.0047	17.074	0.281	0.0025	114.419	3.945
14	0.0190	0.0186	0.0186	0.0160	0.0176	0.0148	0.0028	0.0042	0.0050	17.889	0.284	0.0024	117.446	4.050

Tabla No. 46 Datos calculados para números adimensionales del agua

Corrida	Densidad aire (kg/m3)	Viscosidad aire (kg/ms)	Dab	Schmidt	Sherwood	Reynolds	ln Sh	ln Re	ln Sc	ln (NSh/NSc ^{0.69})
1	1.183	1.83E-05	2.58E-05	0.5996	10.293	4031	2.331	8.302	-0.512	2.684
2	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	39.963	4528	3.688	8.418	-0.512	4.041
3	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	35.068	5031	3.557	8.523	-0.511	3.910
4	1.182	1.83E-05	2.58E-05	0.5996	12.423	5536	2.520	8.619	-0.512	2.872
5	1.182	1.83E-05	2.58E-05	0.5996	17.687	6041	2.873	8.706	-0.512	3.226
6	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	22.196	6542	3.100	8.786	-0.512	3.453
7	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	22.661	7045	3.121	8.860	-0.512	3.474
8	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	25.698	7545	3.246	8.929	-0.511	3.599
9	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	16.962	8045	2.831	8.993	-0.511	3.184
10	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	16.827	8549	2.823	9.054	-0.511	3.176
11	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	26.086	9056	3.261	9.111	-0.511	3.614
12	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	28.960	10060	3.366	9.216	-0.511	3.719
13	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	32.376	10558	3.477	9.265	-0.511	3.830
14	1.182	1.83E-05	2.59E-05	0.5996	33.235	11063	3.504	9.311	-0.511	3.857

Tabla No. 47 Datos calculados transferencia de masa metanol

Corrida	Velocidad aire (m/s)	Tempe ratura líquido (C°)	Tempe ratura bulbo seco aire (C°)	Tempe ratura bulbo húmed o aire (C°)	Presión de vapor líquido (Pa)	Presió n de vapor húmed o(Pa)	Tr	T _{prom.}	Parte superior torre				Parte inferior torre			
									Entalpía vaporizaci ón (kJ/kg)	Tem perat ura líqui do (C°)	Temper atura bulbo seco aire (C°)	Temper atura bulbo húmed o aire (C°)	Presión de vapor liq(Pa)	Presión de vapor húmedo(Pa)	Tr	Entalpí a vaporiz ación (kJ/kg)
1	4.6	20.0	15.5	14.0	12785.8	9141.9	0.560	15.35	1208.61	5.5	15.2	15.2	5522.7	9788.9	0.562	1206.24
2	3.3	21.5	16.0	14.5	13870.2	9406.9	0.561	15.90	1207.63	8.0	15.8	6.6	6428.6	5906.7	0.545	1223.06
3	3.1	20.0	17.0	15.5	12785.8	9956.7	0.563	16.85	1205.65	7.0	16.7	9.4	6052.0	6989.9	0.551	1217.63
4	3.05	20.0	17.0	15.5	12785.8	9956.7	0.563	16.85	1205.65	7.0	16.7	9.4	6052.0	6989.9	0.551	1217.63
5	2.8	21.5	17.0	16.0	13870.2	10241. 8	0.564	16.90	1204.66	8.0	16.8	8.6	6428.6	6664.2	0.549	1219.19
6	2.5	20.0	18.0	16.5	12785.8	10533. 9	0.565	17.50	1203.67	7.0	17.0	10.0	6052.0	7243.1	0.552	1216.46
7	2.3	21.0	17.0	16.0	13500.3	10241. 8	0.564	17.50	1204.66	7.5	18.0	11.0	6237.8	7682.7	0.554	1214.51
8	2.1	19.0	18.0	16.2	12104.0	10357. 8	0.564	17.50	1204.26	6.0	17.0	10.0	5694.5	7243.1	0.552	1216.46
9	1.8	21.0	17.0	15.5	13500.3	9956.7	0.563	17.50	1205.65	7.5	18.0	11.0	6237.8	7682.7	0.554	1214.51
10	1.5	19.0	18.0	16.0	12104.0	10241. 8	0.564	17.50	1204.66	6.0	17.0	10.0	5694.5	7243.1	0.552	1216.46

Tabla No. 48 Datos calculados coeficiente de transferencia de masa para metanol

Corrida	YL1 (kg agua/kg aire seco)	YL2 (kg agua/kg aire seco)	Yw1	Yw2	YG1	YG2	ΔY	q(m3/s)	m (kg/s)	m (kg/h)	flux (kg/m2h)	$\Delta Y \log$	kY (kg//m2h)	F (kmol/m2h)
1	0.1596	0.0637	0.1096	0.1182	0.1079	0.0000	0.1079	0.0035	0.0043	15.439	9.439	0.0575	164.213	5.663
2	0.1752	0.0748	0.1131	0.0684	0.1114	0.0000	0.1114	0.0025	0.0031	11.057	6.980	0.0692	100.844	3.477
3	0.1596	0.0702	0.1204	0.0819	0.1187	0.0000	0.1187	0.0024	0.0029	10.357	6.968	0.0542	128.541	4.432
4	0.1596	0.0702	0.1204	0.0819	0.1187	0.0000	0.1187	0.0023	0.0028	10.190	6.855	0.0542	126.467	4.361
5	0.1752	0.0748	0.1242	0.0778	0.1231	0.0000	0.1231	0.0021	0.0026	9.353	6.526	0.0628	103.902	3.583
6	0.1596	0.0702	0.1282	0.0851	0.1265	0.0000	0.1265	0.0019	0.0023	8.336	5.976	0.0493	121.158	4.178
7	0.1698	0.0725	0.1242	0.0906	0.1231	0.0000	0.1231	0.0018	0.0021	7.669	5.351	0.0587	91.195	3.145
8	0.1499	0.0658	0.1258	0.0851	0.1238	0.0000	0.1238	0.0016	0.0019	7.002	4.912	0.0430	114.337	3.943
9	0.1698	0.0725	0.1204	0.0906	0.1187	0.0000	0.1187	0.0014	0.0017	6.002	4.038	0.0612	65.982	2.275
10	0.1499	0.0658	0.1242	0.0851	0.1220	0.0000	0.1220	0.0011	0.0014	5.001	3.457	0.0442	78.237	2.698

Tabla No. 49 Datos calculados números adimensionales para metanol

Corrida	Densidad aire (kg/m ³)	Viscosidad aire (kg/ms)	Dab	Schmidt	Sherwood	Reynolds	ln Sh	ln Re	ln Sc	ln (NSh/NSc ^{0.72})
1	1.219	1.79E-05	1.33E-05	1.1043	87.135	9753	4.467	9.185	0.099	4.396
2	1.217	1.80E-05	1.34E-05	1.1042	53.459	6977	3.979	8.850	0.099	3.908
3	1.214	1.80E-05	1.34E-05	1.1042	68.030	6522	4.220	8.783	0.099	4.149
4	1.214	1.80E-05	1.34E-05	1.1042	66.932	6417	4.204	8.767	0.099	4.132
5	1.214	1.80E-05	1.34E-05	1.1042	54.985	5890	4.007	8.681	0.099	3.936
6	1.211	1.80E-05	1.35E-05	1.1042	64.051	5242	4.160	8.565	0.099	4.088
7	1.211	1.80E-05	1.35E-05	1.1042	48.210	4823	3.876	8.481	0.099	3.804
8	1.211	1.80E-05	1.35E-05	1.1042	60.445	4404	4.102	8.390	0.099	4.030
9	1.211	1.80E-05	1.35E-05	1.1042	34.881	3774	3.552	8.236	0.099	3.481
10	1.211	1.80E-05	1.35E-05	1.1042	41.360	3145	3.722	8.054	0.099	3.651

Tabla No. 50 Datos calculados transferencia de masa etanol

Corrida	Velocidad aire (m/s)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Parte superior torre								Parte inferior torre			
					Presión de vapor líquido (Pa)	Presión de vapor húmedo (Pa)	Tr	T _{prom.}	Entalpía vaporización (kJ/kg)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Presión de vapor liq.(Pa)	Presión de vapor húmedo (Pa)	Tr	Entalpía vaporización (kJ/kg)
1	5.5	22.9	19.4	18.2	6935.2	5239.6	0.567	17.89	932.66	15.6	16.4	16.0	4453.5	4580.2	0.562	935.72
2	5	22.9	18.4	17.2	6951.5	4915.4	0.565	17.39	934.12	15.6	16.4	15.9	4453.5	4540.5	0.562	935.92
3	4.5	22.9	18.1	16.9	6951.5	4828.2	0.564	17.51	934.53	15.6	16.9	16.1	4453.5	4608.8	0.563	935.58
4	4.25	22.9	18.1	16.8	6935.2	4798.4	0.564	17.59	934.67	15.6	17.1	16.3	4456.3	4663.5	0.563	935.31
5	4	22.9	18.0	16.7	6931.1	4786.5	0.564	17.72	934.73	15.6	17.4	16.6	4450.7	4757.0	0.564	934.87
6	3.75	22.9	18.0	16.8	6943.4	4813.3	0.564	17.80	934.60	15.6	17.6	16.8	4450.7	4813.3	0.564	934.60
7	3.5	22.9	18.2	17.2	6931.1	4930.6	0.565	18.02	934.05	15.6	17.9	17.1	4450.7	4885.2	0.564	934.26
8	3.25	22.9	18.3	17.4	6931.1	4994.7	0.565	18.13	933.76	15.6	17.9	17.1	4450.7	4894.2	0.564	934.22
9	4.75	22.9	18.1	17.2	6935.2	4936.6	0.565	18.06	934.03	15.6	18.0	17.2	4453.5	4927.5	0.565	934.07
10	5.25	22.9	17.6	16.6	6931.1	4762.9	0.564	17.70	934.84	15.6	17.8	17.2	4453.5	4921.4	0.565	934.10
11	3	22.9	18.2	17.3	6931.1	4945.8	0.565	17.98	933.98	15.6	17.8	17.2	4456.3	4921.4	0.565	934.10

Tabla No. 51 Datos calculados coeficiente de transferencia de masa para etanol

Corrida	YL1 (kg agua/kg aire seco)	YL2 (kg agua/kg aire seco)	Yw1	Yw2	YG1	YG2	ΔY	q(m3/s)	m (kg/s)	m (kg/h)	flux (kg/m2h)	ΔY log	kY (kg//m2h)	F (kmol/m2h)
1	0.1167	0.0730	0.0866	0.0752	0.0846	0.0000	0.0846	0.0042	0.0051	18.317	8.780	0.0498	176.189	6.075
2	0.1170	0.0730	0.0810	0.0745	0.0789	0.0000	0.0789	0.0038	0.0046	16.677	7.461	0.0537	139.017	4.794
3	0.1170	0.0730	0.0795	0.0757	0.0773	0.0000	0.0773	0.0034	0.0042	15.004	6.574	0.0547	120.214	4.145
4	0.1167	0.0731	0.0790	0.0766	0.0767	0.0000	0.0767	0.0032	0.0039	14.167	6.162	0.0549	112.293	3.872
5	0.1166	0.0730	0.0788	0.0783	0.0766	0.0000	0.0766	0.0031	0.0037	13.329	5.786	0.0549	105.418	3.635
6	0.1169	0.0730	0.0792	0.0792	0.0772	0.0000	0.0772	0.0029	0.0035	12.492	5.463	0.0547	99.917	3.445
7	0.1166	0.0730	0.0813	0.0805	0.0796	0.0000	0.0796	0.0027	0.0032	11.652	5.254	0.0530	99.083	3.417
8	0.1166	0.0730	0.0824	0.0806	0.0808	0.0000	0.0808	0.0025	0.0030	10.816	4.955	0.0522	94.888	3.272
9	0.1167	0.0730	0.0814	0.0812	0.0799	0.0000	0.0799	0.0036	0.0044	15.811	7.161	0.0529	135.431	4.670
10	0.1166	0.0730	0.0784	0.0811	0.0767	0.0000	0.0767	0.0040	0.0049	17.494	7.601	0.0549	138.559	4.778
11	0.1166	0.0731	0.0815	0.0811	0.0799	0.0000	0.0799	0.0023	0.0028	9.988	4.525	0.0528	85.645	2.953

Tabla No. 52 Datos calculados números adimensionales para etanol

Corrida	Densidad aire (kg/m ³)	Viscosidad aire (kg/ms)	Dab	Schmidt	Sherwood	Reynolds	ln Sh	ln Re	ln Sc	ln (NSh/NSc ^{0.67})
1	1.210	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	122.937	11510	4.812	9.351	0.377	4.559
2	1.212	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	97.084	10491	4.576	9.258	0.377	4.323
3	1.211	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	83.935	9436	4.430	9.152	0.377	4.177
4	1.211	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	78.393	8908	4.362	9.095	0.377	4.109
5	1.211	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	73.578	8378	4.298	9.033	0.377	4.046
6	1.210	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	69.728	7851	4.245	8.968	0.377	3.992
7	1.210	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	69.120	7320	4.236	8.898	0.377	3.983
8	1.209	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	66.182	6793	4.192	8.824	0.377	3.940
9	1.209	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	94.470	9932	4.548	9.204	0.377	4.295
10	1.211	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	96.712	10998	4.572	9.305	0.377	4.319
11	1.210	1.80E-05	1.02E-05	1.4584	59.751	6275	4.090	8.744	0.377	3.837

Tabla No. 53 Datos calculados transferencia de masa 2-propanol

Corrida	Velocidad aire (m/s)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Parte superior torre								Parte inferior torre			
					Presión de vapor líquido (Pa)	Presión de vapor húmedo (Pa)	Tr	T _{prom.}	Entalpía vaporización (kJ/kg)	Temperatura líquido (C°)	Temperatura bulbo seco aire (C°)	Temperatura bulbo húmedo aire (C°)	Presión de vapor liq.(Pa)	Presión de vapor húmedo (Pa)	Tr	Entalpía vaporización (kJ/kg)
1	4	24.0	20.3	17.8	5647.7	3824.9	0.572	21.50	752.48	15.0	22.7	22.2	3186.6	5053.7	0.581	746.47
2	3.5	24.0	21.8	18.3	5647.7	3950.0	0.573	22.25	751.80	15.5	22.7	22.2	3293.2	5053.7	0.581	746.47
3	3.75	24.5	24.3	17.3	5823.1	3703.4	0.571	24.00	753.16	16.0	23.7	23.2	3402.9	5376.6	0.583	745.10
4	3.25	24.5	25.3	17.8	5823.1	3824.9	0.572	24.50	752.48	16.0	23.7	23.2	3402.9	5376.6	0.583	745.10
5	2.75	25.0	25.3	17.8	6003.1	3824.9	0.572	24.25	752.48	17.0	23.2	22.7	3632.1	5213.0	0.582	745.79
6	2.25	25.0	25.3	18.3	6003.1	3950.0	0.573	24.50	751.80	17.0	23.7	23.2	3632.1	5376.6	0.583	745.10
7	1.75	25.0	25.8	18.8	6003.1	4078.5	0.574	24.75	751.12	16.0	23.7	23.2	3402.9	5376.6	0.583	745.10
8	4.25	24.8	24.3	16.3	5930.5	3470.3	0.569	23.50	754.51	16.0	22.7	22.2	3402.9	5053.7	0.581	746.47
9	4.3	24.0	22.3	17.3	5647.7	3703.4	0.571	22.50	753.16	15.0	22.7	22.2	3186.6	5053.7	0.581	746.47
10	3.5	25.0	25.3	17.8	6003.1	3824.9	0.572	24.50	752.48	16.0	23.7	23.2	3402.9	5376.6	0.583	745.10
11	3	24.0	25.3	18.3	5647.7	3950.0	0.573	24.00	751.80	16.0	22.7	22.2	3402.9	5053.7	0.581	746.47
12	2.5	24.0	25.3	18.3	5647.7	3950.0	0.573	24.00	751.80	17.0	22.7	22.2	3632.1	5053.7	0.581	746.47
13	2	24.0	26.3	19.3	5647.7	4210.7	0.575	24.50	750.44	18.0	22.7	22.2	3874.5	5053.7	0.581	746.47
14	1.5	24.5	25.8	19.3	5823.1	4210.7	0.575	24.75	750.44	17.0	23.7	23.2	3632.1	5376.6	0.583	745.10
15	2.5	25.0	25.3	17.3	6003.1	3703.4	0.571	24.50	753.16	16.0	23.7	23.2	3402.9	5376.6	0.583	745.10
16	3	25.0	24.8	17.3	6003.1	3703.4	0.571	24.25	753.16	15.5	23.7	23.2	3293.2	5376.6	0.583	745.10
17	2.75	25.0	25.3	16.8	6003.1	3585.2	0.570	24.50	753.83	15.5	23.7	23.2	3293.2	5376.6	0.583	745.10
18	2.25	25.5	25.3	17.3	6188.0	3703.4	0.571	24.50	753.16	16.0	23.7	23.2	3402.9	5376.6	0.583	745.10
19	3.75	25.5	24.3	16.8	6188.0	3585.2	0.570	24.00	753.83	15.5	23.7	23.2	3293.2	5376.6	0.583	745.10
20	3.25	25.5	24.8	16.8	6188.0	3585.2	0.570	24.25	753.83	15.5	23.7	23.2	3293.2	5376.6	0.583	745.10

Tabla No. 54 Datos calculados coeficiente de transferencia de masa para 2-propanol

Corrida	YL1 (kg agua/kg aire seco)	YL2 (kg agua/kg aire seco)	Yw1	Yw2	YG1	YG2	ΔY	q(m3/s)	m (kg/s)	m (kg/h)	flux (kg/m2h)	ΔY log	kY (kg/m2h)	F (kmol/m2h)
1	0.1223	0.0673	0.0813	0.1088	0.0758	0.0000	0.0758	0.0031	0.0037	13.174	5.659	0.0563	100.560	3.468
2	0.1223	0.0696	0.0841	0.1088	0.0763	0.0000	0.0763	0.0027	0.0032	11.501	4.976	0.0570	87.330	3.011
3	0.1264	0.0720	0.0786	0.1161	0.0632	0.0000	0.0632	0.0029	0.0034	12.255	4.390	0.0675	65.056	2.243
4	0.1264	0.0720	0.0813	0.1161	0.0648	0.0000	0.0648	0.0025	0.0029	10.605	3.893	0.0667	58.400	2.014
5	0.1305	0.0770	0.0813	0.1124	0.0648	0.0000	0.0648	0.0021	0.0025	8.980	3.297	0.0712	46.277	1.596
6	0.1305	0.0770	0.0841	0.1161	0.0686	0.0000	0.0686	0.0017	0.0020	7.342	2.856	0.0692	41.273	1.423
7	0.1305	0.0720	0.0869	0.1161	0.0715	0.0000	0.0715	0.0013	0.0016	5.706	2.311	0.0653	35.382	1.220
8	0.1288	0.0720	0.0735	0.1088	0.0559	0.0000	0.0559	0.0032	0.0039	13.911	4.408	0.0725	60.835	2.098
9	0.1223	0.0673	0.0786	0.1088	0.0676	0.0000	0.0676	0.0033	0.0039	14.119	5.410	0.0608	89.003	3.069
10	0.1305	0.0720	0.0813	0.1161	0.0648	0.0000	0.0648	0.0027	0.0032	11.421	4.193	0.0688	60.914	2.100
11	0.1223	0.0720	0.0841	0.1088	0.0686	0.0000	0.0686	0.0023	0.0027	9.804	3.813	0.0624	61.102	2.107
12	0.1223	0.0770	0.0841	0.1088	0.0686	0.0000	0.0686	0.0019	0.0023	8.170	3.178	0.0647	49.138	1.694
13	0.1223	0.0824	0.0899	0.1088	0.0744	0.0000	0.0744	0.0015	0.0018	6.526	2.751	0.0636	43.250	1.491
14	0.1264	0.0770	0.0899	0.1161	0.0755	0.0000	0.0755	0.0011	0.0014	4.891	2.093	0.0630	33.190	1.144
15	0.1305	0.0720	0.0786	0.1161	0.0610	0.0000	0.0610	0.0019	0.0023	8.158	2.821	0.0708	39.865	1.375
16	0.1305	0.0696	0.0786	0.1161	0.0621	0.0000	0.0621	0.0023	0.0027	9.797	3.448	0.0690	49.972	1.723
17	0.1305	0.0696	0.0760	0.1161	0.0573	0.0000	0.0573	0.0021	0.0025	8.973	2.915	0.0714	40.837	1.408
18	0.1348	0.0720	0.0786	0.1161	0.0610	0.0000	0.0610	0.0017	0.0020	7.342	2.538	0.0729	34.823	1.201
19	0.1348	0.0696	0.0760	0.1161	0.0595	0.0000	0.0595	0.0029	0.0034	12.255	4.134	0.0724	57.098	1.969
20	0.1348	0.0696	0.0760	0.1161	0.0584	0.0000	0.0584	0.0025	0.0029	10.613	3.514	0.0729	48.177	1.661

Tabla No. 55: Datos calculados números adimensionales para 2-propanol

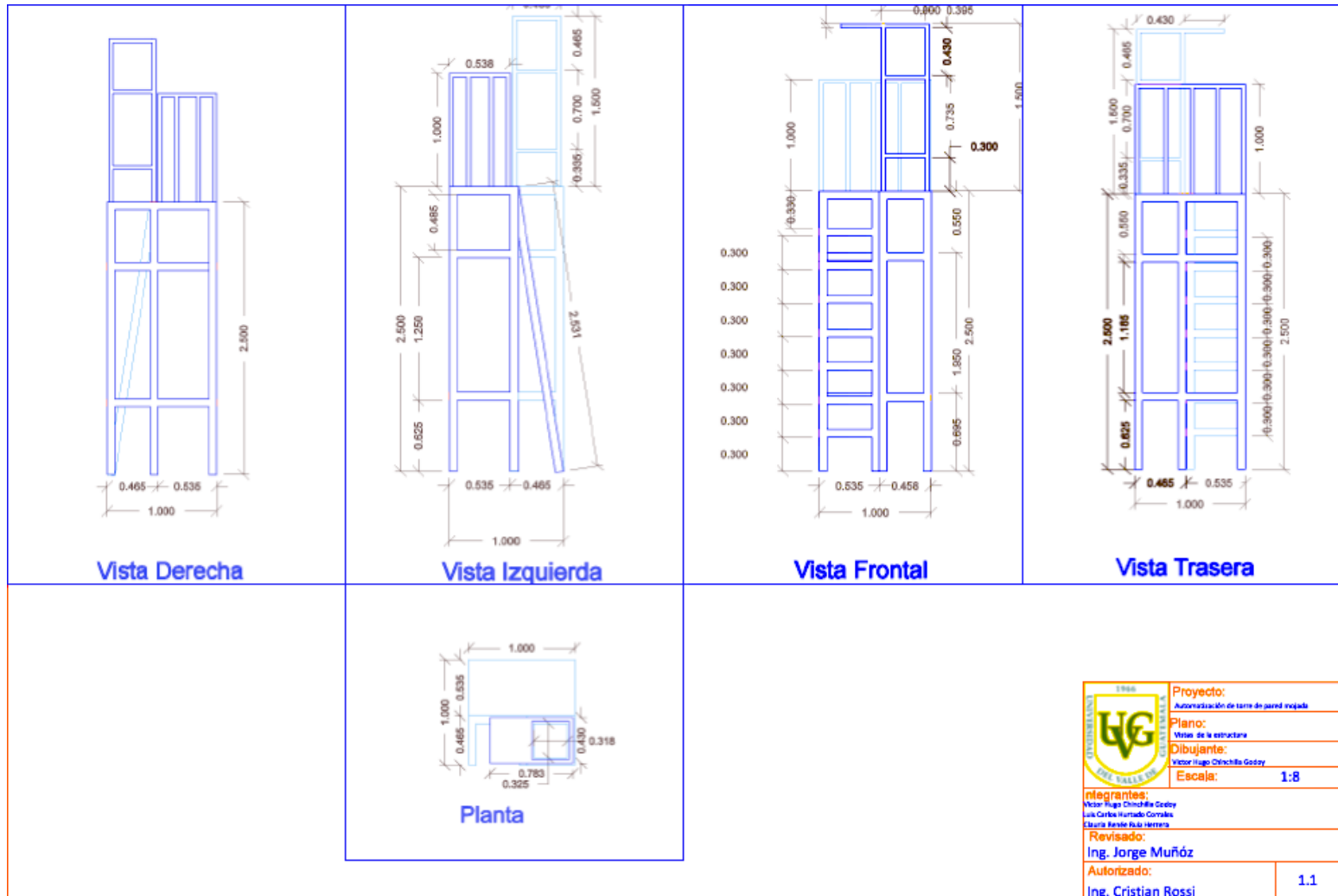
Corrida	Densidad aire (kg/m ³)	Viscosidad aire (kg/ms)	Dab	Schmidt	Sherwood	Reynolds	ln Sh	ln Re	ln Sc	ln (NSh/NSc ^{0.75})
1	1.197	1.82E-05	9.81E-06	1.5477	73.993	8216	4.304	9.014	0.437	3.976
2	1.194	1.82E-05	9.85E-06	1.5478	64.177	7161	4.162	8.876	0.437	3.834
3	1.187	1.83E-05	9.94E-06	1.5482	47.667	7603	3.864	8.936	0.437	3.536
4	1.186	1.83E-05	9.96E-06	1.5483	42.754	6572	3.755	8.791	0.437	3.428
5	1.186	1.83E-05	9.95E-06	1.5482	33.893	5568	3.523	8.625	0.437	3.195
6	1.186	1.83E-05	9.96E-06	1.5483	30.216	4550	3.408	8.423	0.437	3.081
7	1.185	1.83E-05	9.98E-06	1.5483	25.892	3534	3.254	8.170	0.437	2.926
8	1.189	1.83E-05	9.91E-06	1.5480	44.612	8639	3.798	9.064	0.437	3.470
9	1.193	1.82E-05	9.86E-06	1.5479	65.378	8787	4.180	9.081	0.437	3.853
10	1.186	1.83E-05	9.96E-06	1.5483	44.595	7078	3.798	8.865	0.437	3.470
11	1.187	1.83E-05	9.94E-06	1.5482	44.770	6083	3.802	8.713	0.437	3.474
12	1.187	1.83E-05	9.94E-06	1.5482	36.004	5069	3.584	8.531	0.437	3.256
13	1.186	1.83E-05	9.96E-06	1.5483	31.663	4045	3.455	8.305	0.437	3.127
14	1.185	1.83E-05	9.98E-06	1.5483	24.288	3029	3.190	8.016	0.437	2.862
15	1.186	1.83E-05	9.96E-06	1.5483	29.185	5056	3.374	8.528	0.437	3.046
16	1.186	1.83E-05	9.95E-06	1.5482	36.599	6075	3.600	8.712	0.437	3.272
17	1.186	1.83E-05	9.96E-06	1.5483	29.896	5561	3.398	8.624	0.437	3.070
18	1.186	1.83E-05	9.96E-06	1.5483	25.494	4550	3.238	8.423	0.437	2.911
19	1.187	1.83E-05	9.94E-06	1.5482	41.836	7603	3.734	8.936	0.437	3.406
20	1.186	1.83E-05	9.95E-06	1.5482	35.285	6581	3.563	8.792	0.437	3.236

Tabla No. 56 Coeficiente de transferencia de masa a partir de diferencia de masa de balanzas

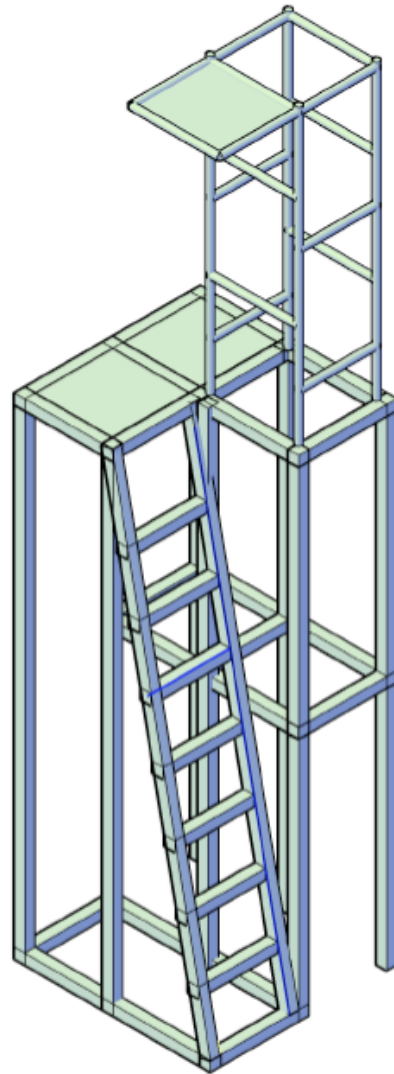
Líquido	Diferencia de peso (kg)	Masa transferida al aire (kg)	Coeficiente de transferencia de masa (kg/h m ²)
Agua	0.846	0.062	81.09
Metanol	0.710	0.085	111.17
Etanol	0.714	0.092	120.33
2-propanol	0.662	0.043	49.12

8. Apéndice H: Planos

Plano No. 1 Vistas estructura.

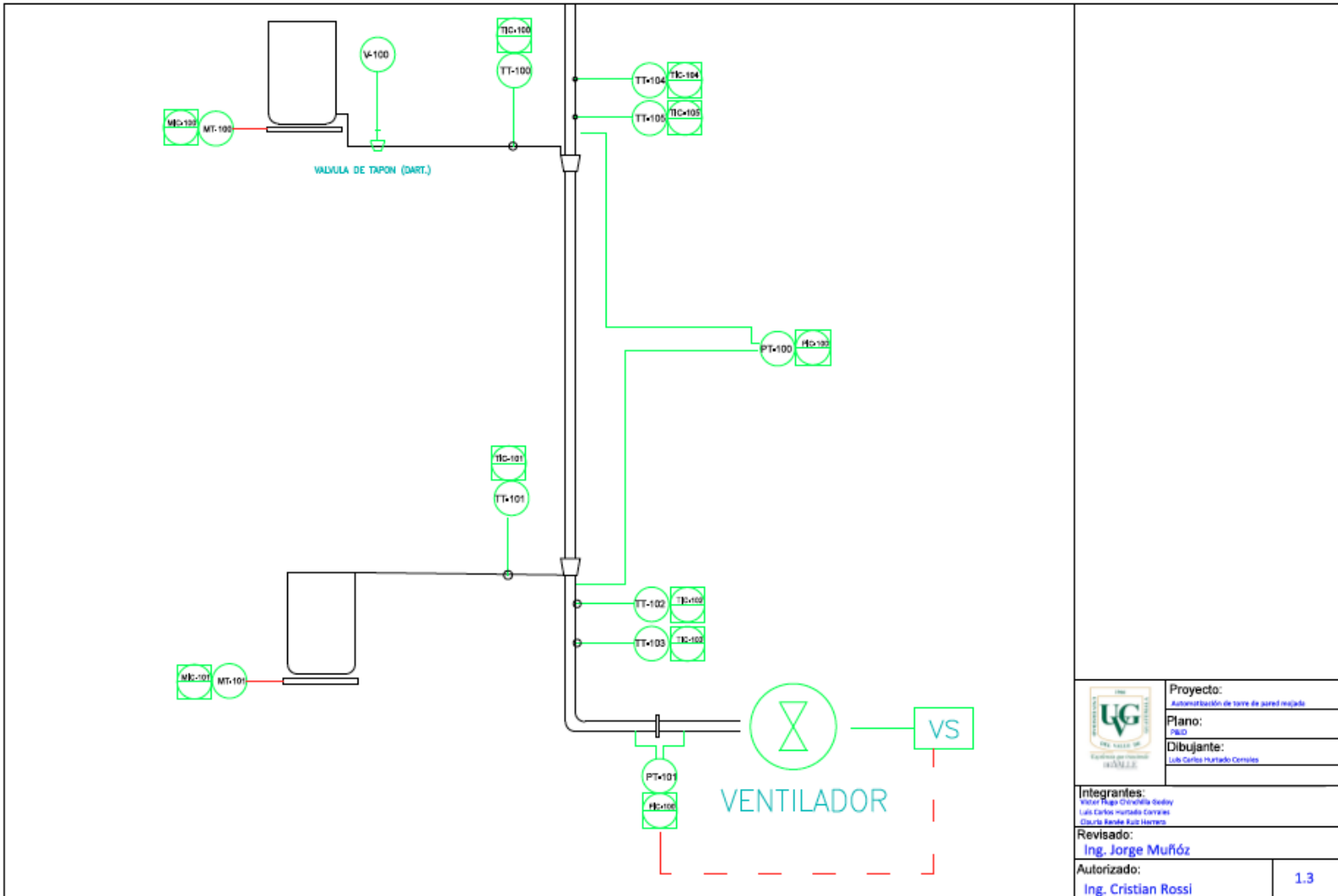


Plano No. 2 Vista 3D de la estructura



	Proyecto: Automatización de torre de pared mojada
	Plano: Vista 3D de la estructura
	Dibujante: Victor Hugo Chinchilla Godoy
	Escala: 1:8
Integrantes: Victor Hugo Chinchilla Godoy Luis Carlos Hurtado Gomez Elizaveth Bander Fu de Herrera	
Revisado: Ing. Jorge Muñoz	
Autorizado: Ing. Cristian Rossi	1.2

Plano No. 3 Diagrama P&ID



	Proyecto: Automatización de torre de aire mojado
	Plano: P&ID
	Dibujante: Luis Carlos Hurtado Corrales
Integrantes: Víctor Hugo Chinchilla Osorio Luis Carlos Hurtado Corrales Elizabeth Rueda Ruiz Herrera	
Revisado: Ing. Jorge Muñoz	
Autorizado: Ing. Cristian Rossi	1.3

9. Apéndice I: Manual de usuario

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería**



**TORRE PARED MOJADA
MANUAL DE USUARIO**

**GUATEMALA
2012**

INFORMACIÓN GENERAL

La torre de pared mojada en la Universidad del Valle de Guatemala, en el Laboratorio de Operaciones Unitarias opera en contracorriente utilizando como líquidos: metanol, etanol, 2.-propanol y agua. Como gas se utiliza aire, que por medio de un ventilador controlado por un variador, genera el flujo de aire.

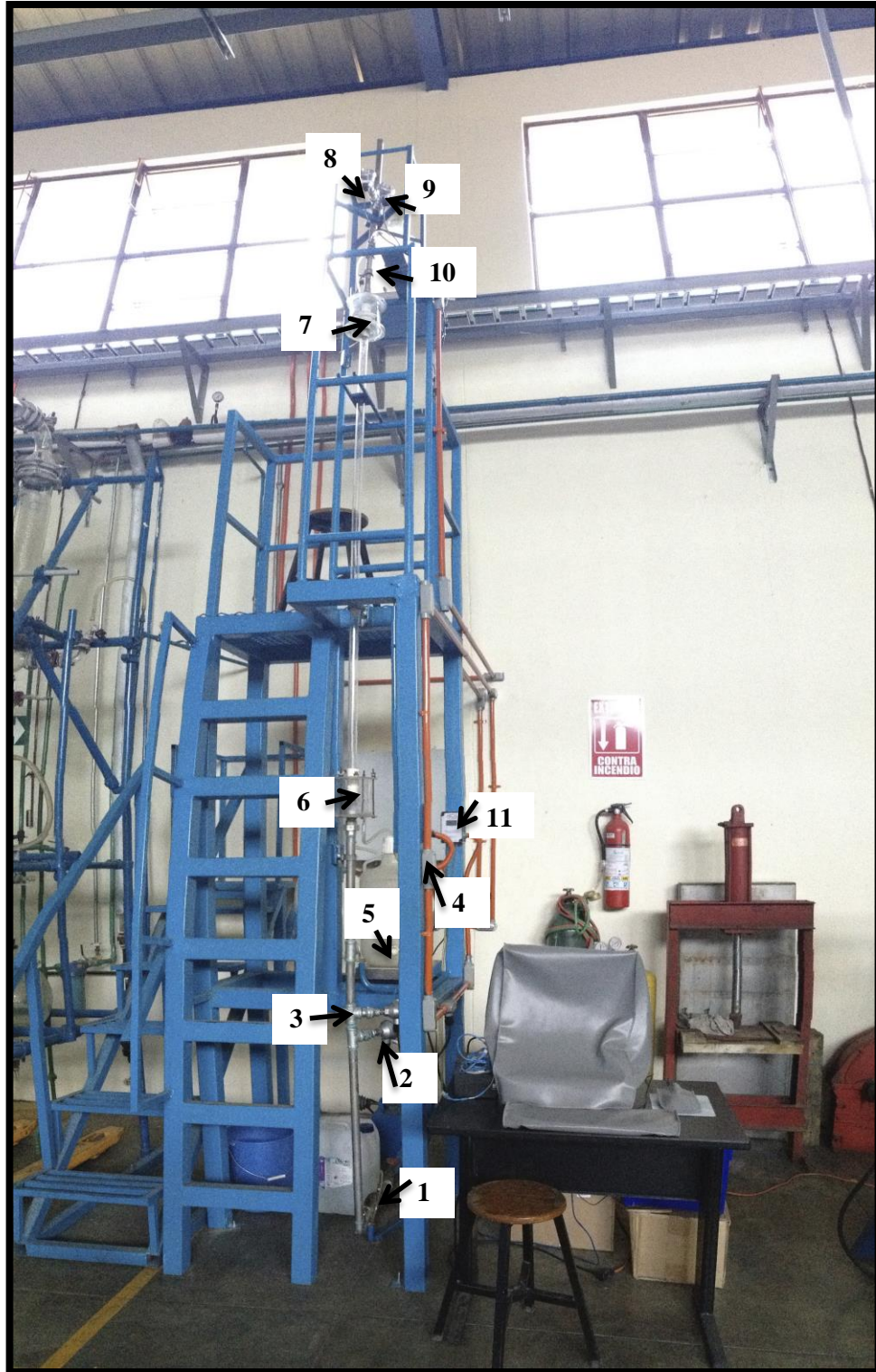
La torre se puede operar en dos formas: manual y automática. Si se utiliza en modo manual, el usuario puede operar la torre abriendo la válvula superior y permitir que el flujo de líquido empiece cuando el desee. Luego el usuario debe de ingresar una velocidad del ventilador para definir el flujo de aire entrante. Al finalizar la operación de la torre se debe cerrar la válvula y apagar el ventilador.

En la forma automática el usuario permite que el flujo de líquido descienda por la torre presionando el botón de inicio. Al mismo tiempo arranca el ventilador a una velocidad de 3.5 m/s, 4.5 m/s, 5.5 m/s y 6.5 m/s. De esta forma se puede realizar una primera corrida y observar la tendencia que tienen los datos obtenidos, si los resultados no fueran cercanos a los datos teóricos, el usuario puede entonces operar el equipo en modo manual y variar las velocidades en rangos más pequeños. El modo automático se estableció en base a la masa que se tiene en el recipiente en la parte superior de la torre. Si la masa del líquido se encuentra entre el rango de 20 a 15 kg opera a la primera velocidad, luego entre 15 y 10 kg la siguiente velocidad, entre 10 y 5 kg la siguiente velocidad y finalmente entre 5 y 0 kg la última velocidad. Luego el ventilador se apaga y se cierra la válvula de paso.

El usuario debe utilizar arnés al estar en la parte superior de la torre y el equipo de protección personal adecuado para el tipo de líquido orgánico que se esté utilizando durante las corridas experimentales.

DIAGRAMA DEL EQUIPO

Figura No. 61 Diagrama de equipo



PARTES DE LA TORRE DE PARED MOJADA

1. **Placa de orificio**
2. **RTD bulbo seco**
3. **RTD bulbo húmedo**
4. **Sensor presión diferencial para la sección mojada**
5. **Balanza y recipiente de líquido inferior**
6. **Distribuidor de líquido inferior**
7. **Distribuidor de líquido superior**
8. **RTD bulbo seco**
9. **RTD bulbo húmedo**
10. **Balanza y recipiente de líquido superior**
11. **Sensor presión diferencial para placa de orificio**

LISTA DE CHEQUEO

Antes de que cualquier usuario opere la torre, se debe cumplir con la siguiente lista. Con esto se asegura que el equipo va a ser utilizado de una forma adecuada.

- 1 • Leer el manual completo
- 2 • Hacer un reconocimiento de todo el equipo
- 3 • Asegurarse que todas las válvulas están cerradas
- 4 • Llenar recipiente superior con líquido a utilizar
- 5 • Humedecer RTD's de bulbo húmedo
- 6 • Verificar que la faja del ventilador no está obstruida
- 7 • Energizar el equipo

INICIALIZACIÓN

Antes de poder utilizar la torre de pared mojada en una práctica, se debe seguir los siguientes pasos de inicialización del sistema:

1. Encender el equipo de la torre de pared mojada:
 - a. Se debe encender la computadora e ingresar con el usuario *Ingeniería Química* y la contraseña *Caldera10*.
 - b. Energizar el equipo automatizado conectando a la corriente alterna, tanto la corriente para el motor del ventilador como para la fuente de poder en el PLC.
2. Iniciar el programa que se encuentra en el escritorio de la PC, con el nombre Torre de Pared Mojada. Presionar el botón que dice Run Application.
3. Llenado de recipiente superior
 - a. Verificar que las válvulas de paso se encuentran cerradas. (Válvula solenoide y válvula de bola)

Figura No. 62 Válvulas



- b. Ya seleccionado el líquido que se piensa utilizar para la práctica, se llena el recipiente en la parte superior de la torre a su capacidad máxima. (5 galones).

Figura No. 63 Recipiente de líquido



- c. Con el líquido a utilizar se debe humedecer los dos sensores para bulbo húmedo, uno se encuentra en la parte superior de la torre y el otro en la parte inferior. Debe retirar el tapón roscado y luego volverlo a colocar, asegurando que queda apretado para evitar fugas de aire.

Figura No. 64 Tapón bulbo húmedo superior



Figura No. 65 Tapón bulbo húmedo inferior



Figura No. 66 Bulbo húmedo RTD superior



OPERACIÓN

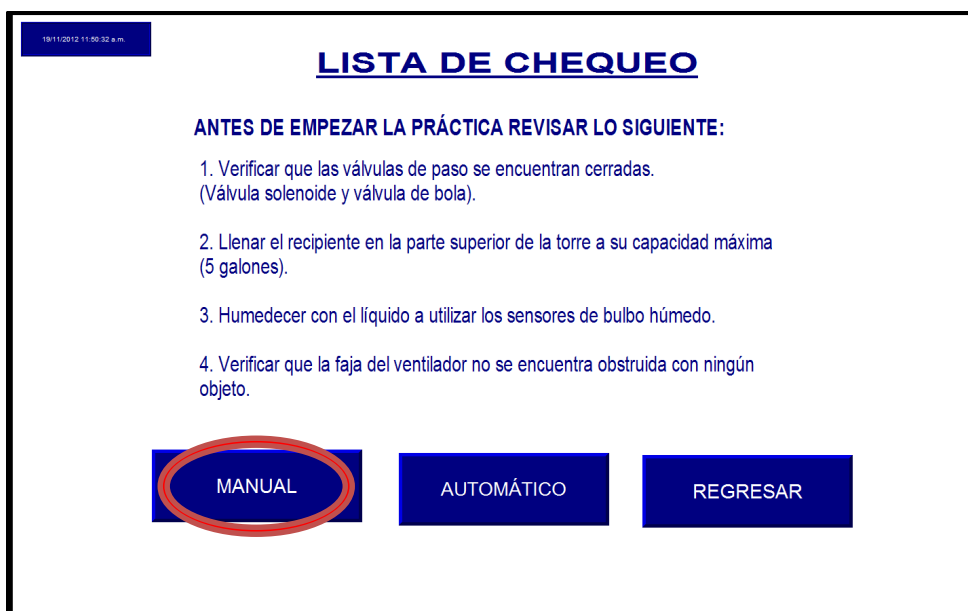
Ya teniendo seleccionado el líquido que se desea utilizar se deben seguir los siguientes pasos para poder operar la torre de pared mojada correctamente. Dependiendo si va a utilizar la torre de pared mojada en modo manual o automático debe de realizar lo siguiente:

Modo Manual

Figura No. 67 Pantalla inicial programa de operación



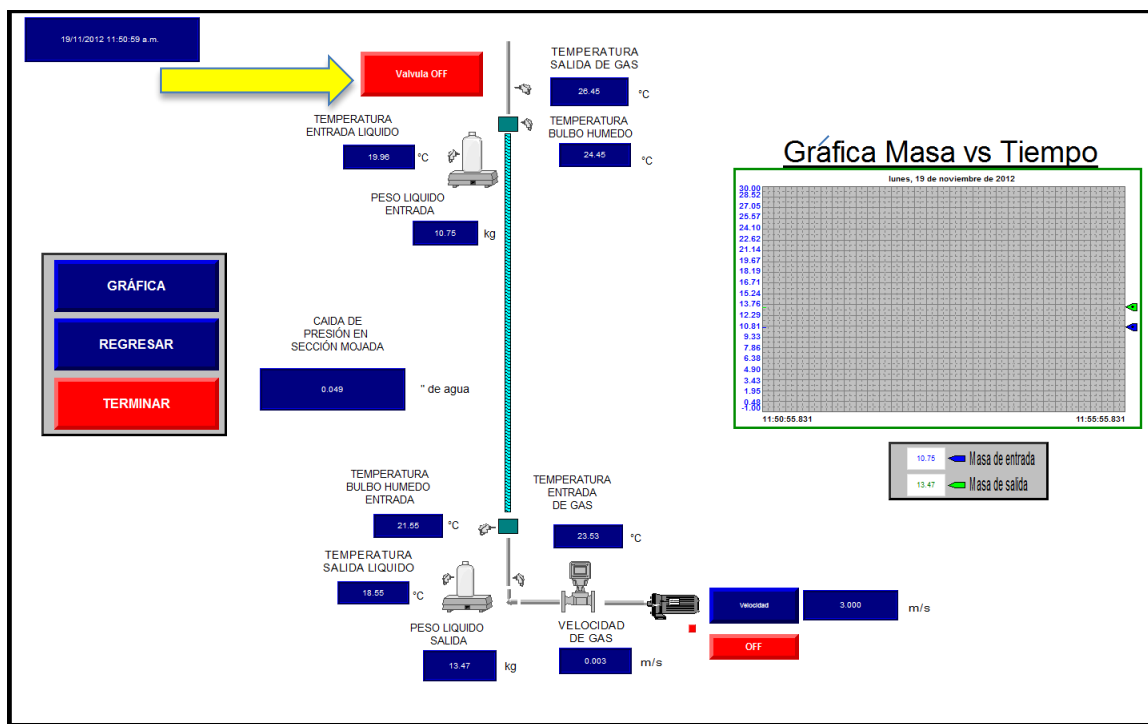
Figura No. 68 Lista de chequeo programa de operación



- **Habilitar pared mojada**

Abrir válvula solenoide presionando el botón de encendido, para que el líquido comience a llenar el distribuidor y se comience a formar la película.

Figura No. 69 Pantalla de operación manual



- **Asegurar que no hayan fugas**

Es necesario verificar que no haya fugas en el equipo para que no se pierda líquido ni existan pérdidas de presión por escape de aire.

- **Encender el ventilador y regular velocidad de aire**

Verificar que la válvula de paso del ventilador se encuentra totalmente abierta. Luego, revisar que el variador de frecuencia se encuentra encendido y regular la velocidad de entrada de aire a la torre, presionando el botón de encendido y luego el de velocidad. Debe asegurarse que la faja que conecta el motor con la polea del ventilador no se encuentra obstruida.

Figura No. 70 Encendido del ventilador

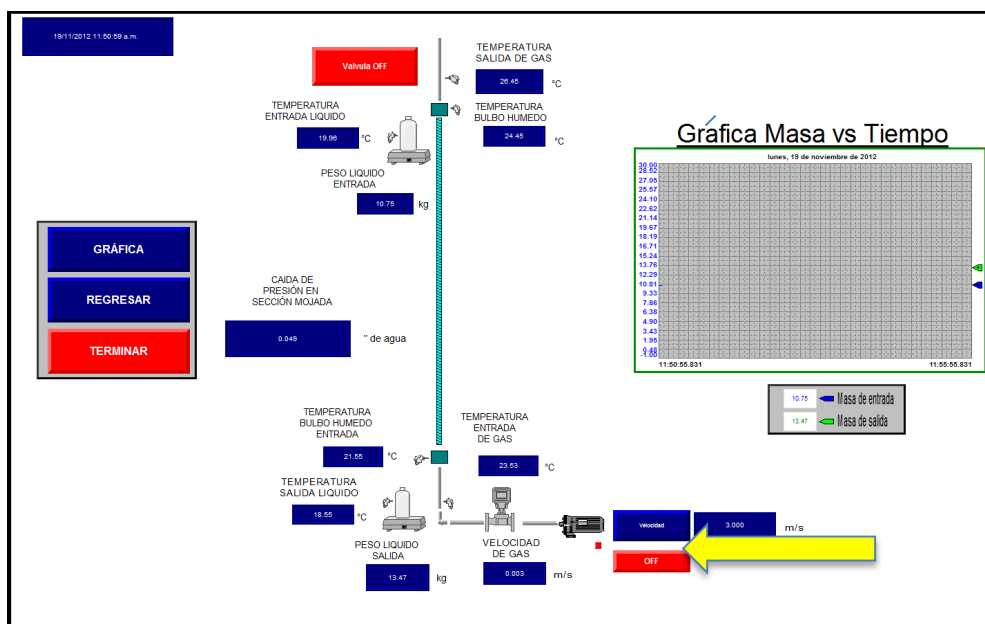
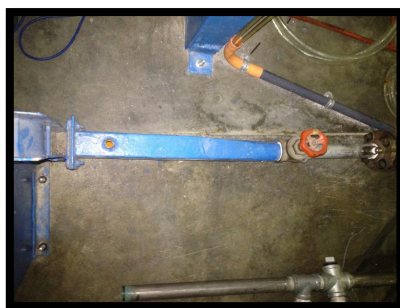


Figura No. 71 Válvula de paso del ventilador



- **Verificar sensores de temperatura**

Verificar que los sensores de bulbo húmedo se encuentra humedecidos con el líquido que se va a realizar la práctica. De notar que se encuentran muy secos, humedecerlos por medio de una piseta.

Figura No. 72 Bulbo húmedo



- **Tomar lectura de sensores**

Al tener una película estable, se toma lectura de los 6 sensores de temperatura, las 2 balanzas y de los sensores de caída de presión.

- **Variar el flujo de aire**

El flujo de aire debe variar en cada corrida para ser determinado.

- **Iniciar otra corrida y repetir proceso**

Se inicia una corrida de nuevo, ya variando el flujo de aire, y repetir proceso y mediciones.

- **Finalización**

Al terminar las corridas debe de vaciar los recipientes, asegurarse que el PLC y el variador de frecuencia quedaron desconectados a la fuente de energía y apagar la computadora.

Modo Automático

19/11/2012 11:49:35 a.m.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

1865

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Universidad que trasciende

DEL VALLE

TORRE DE PARED MOJADA

INICIAR INSTRUCCIONES

Trabajo de graduación realizado por los estudiantes:
 Claudia Renée Ruiz Herrera de Ingeniería Industrial
 Luis Carlos Hurtado Corrales de Ingeniería Química
 Hucho Chinchilla de Ingeniería Electrónica

APAGAR

19/11/2012 11:50:32 a.m.

LISTA DE CHEQUEO

ANTES DE EMPEZAR LA PRÁCTICA REVISAR LO SIGUIENTE:

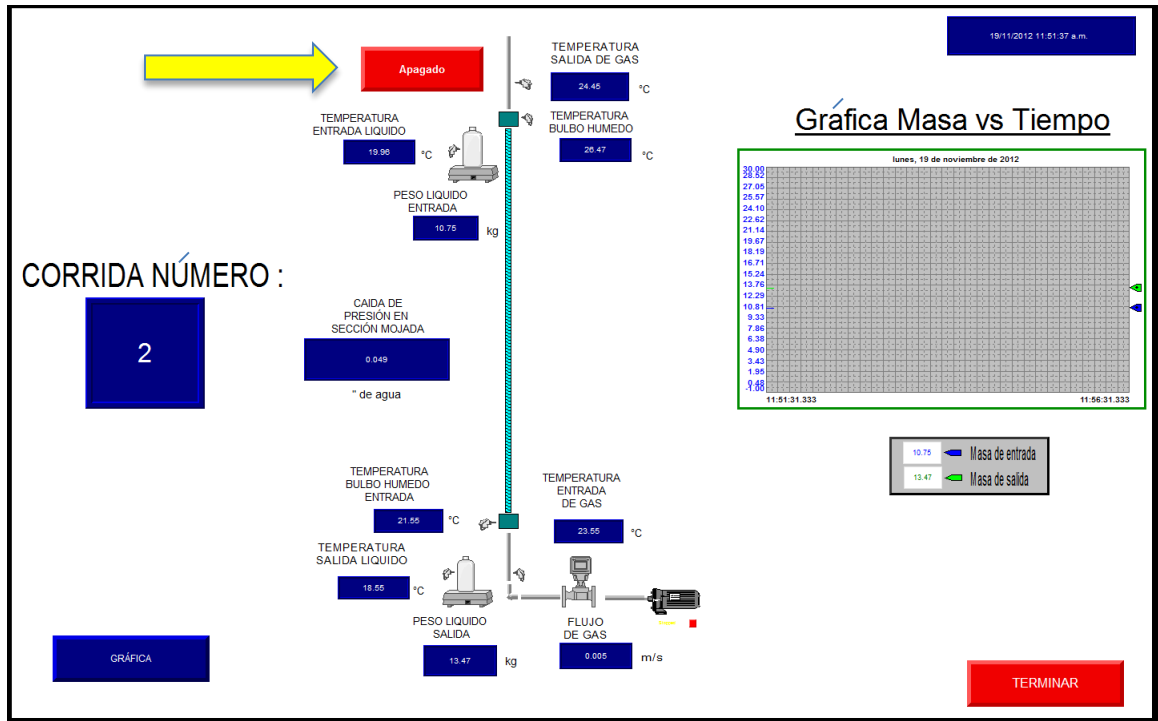
1. Verificar que las válvulas de paso se encuentran cerradas.
(Válvula solenoide y válvula de bola).
2. Llenar el recipiente en la parte superior de la torre a su capacidad máxima (5 galones).
3. Humedecer con el líquido a utilizar los sensores de bulbo húmedo.
4. Verificar que la faja del ventilador no se encuentra obstruida con ningún objeto.

MANUAL AUTOMÁTICO REGRESAR

- **Habilitar pared mojada**

Abrir válvula solenoide desde el programa de operación, para que el líquido comience a llenar el distribuidor y se comience a formar la película.

Figura No. 73 Pantalla operación automática



- **Asegurar que no hayan fugas**

Es necesario verificar que no haya fugas en el equipo para que no se pierda líquido ni existan pérdidas de presión por escape de aire.

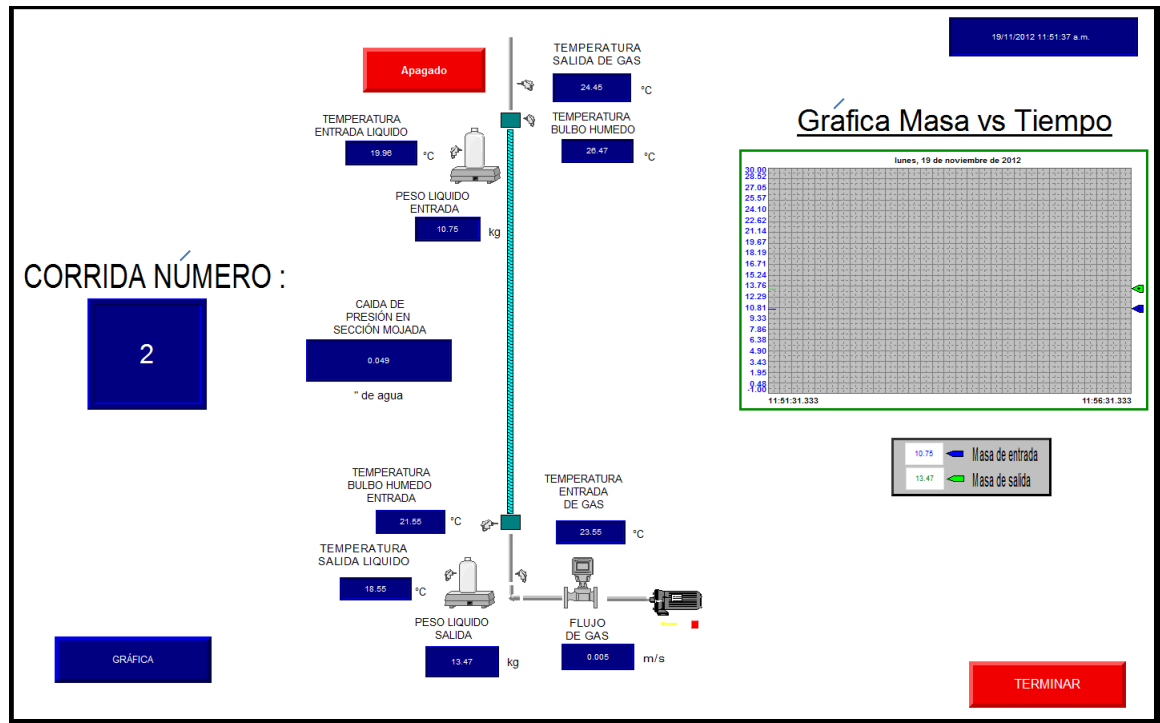
- **Verificar sensores de temperatura**

Verificar que los sensores de bulbo húmedo se encuentra humedecidos con el líquido que se va a realizar la práctica. De notar que se encuentran muy secos, humedecerlos por medio de una pipeta.

- **Tomar lectura de sensores**

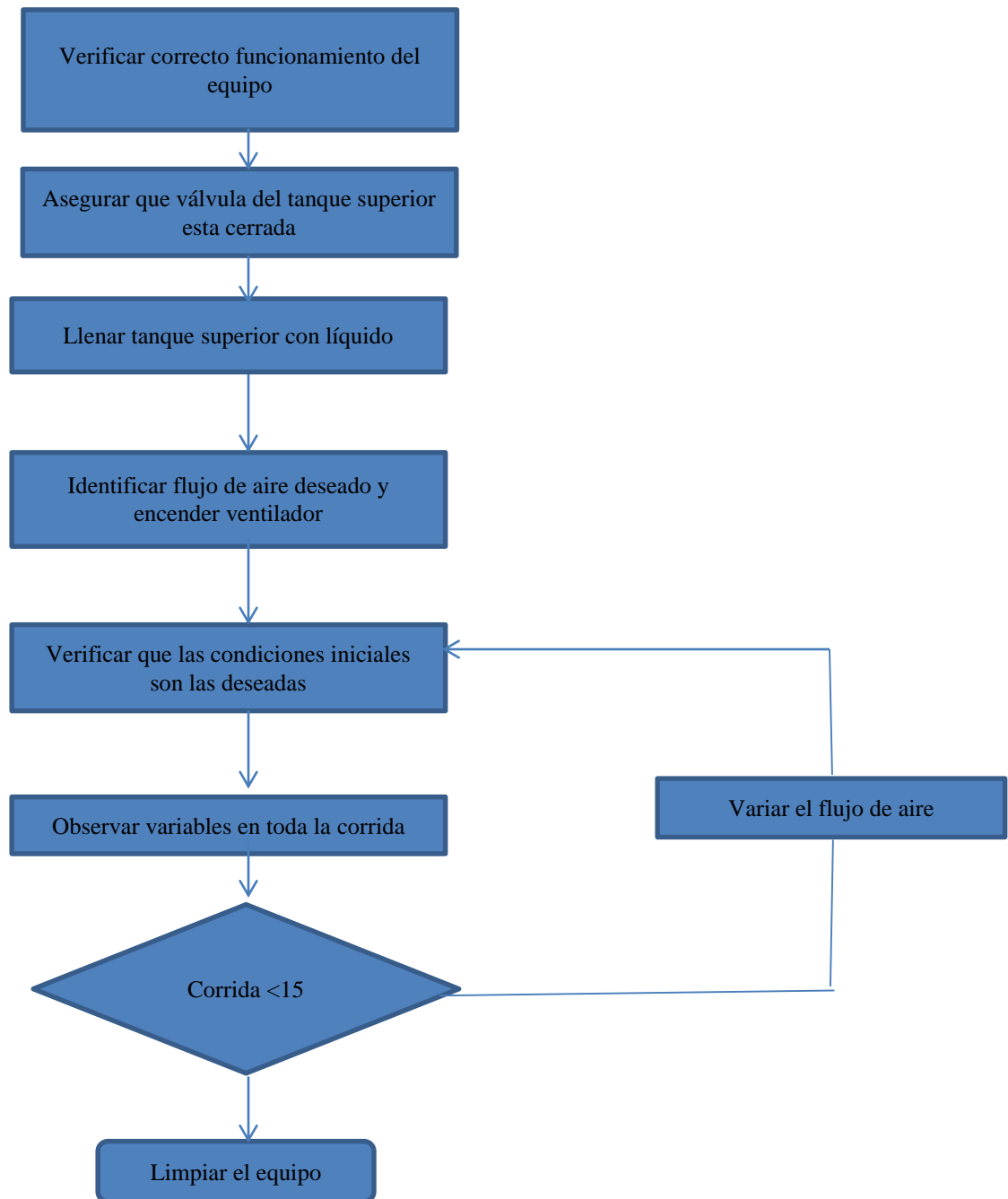
Al tener una película estable, se toma lectura de los 6 sensores de temperatura, las 2 balanzas y de los sensores de caída de presión. Volver a tomar lectura cuando el ventilador cambia de velocidad.

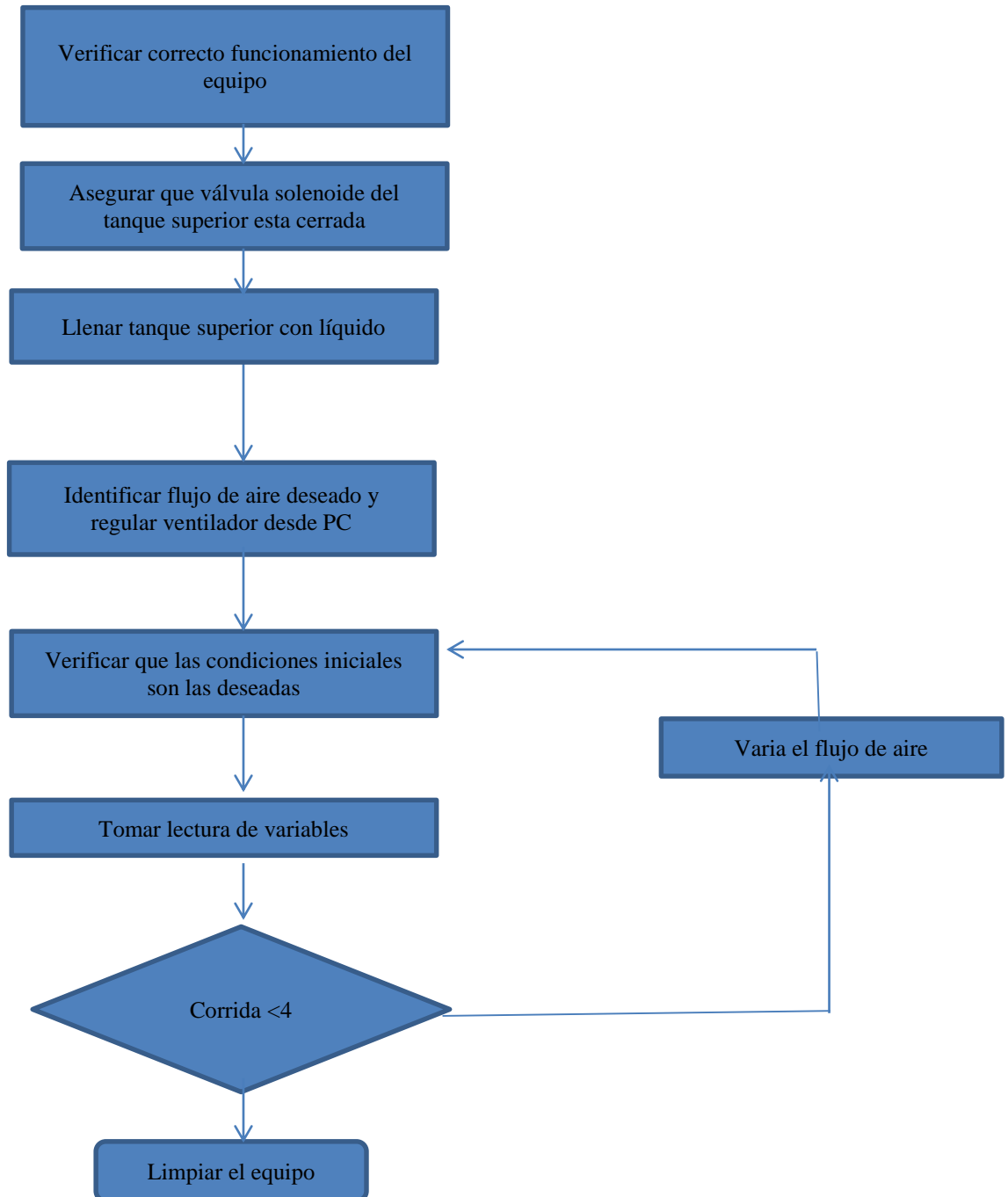
Figura No. 74 Pantalla de operación automática



- **Finalización**

Al terminar las corridas debe de vaciar los recipientes, asegurarse que el PLC y el variador de frecuencia quedaron desconectados a la fuente de energía y apagar la computadora.

OPERACIÓN MANUAL

OPERACIÓN AUTOMÁTICO

HOJAS DE SEGURIDAD PARA LÍQUIDOS

- AGUA

SECCIÓN II.- DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA	
1.- NOMBRE COMERCIAL Agua Desionizada	2.- NOMBRE QUÍMICO Agua
3.- PESO MOLECULAR 18,02	4.- FAMILIA QUÍMICA No se dispone de información
5.- SINÓNIMOS Oxido de Hidrogeno	6.- OTROS DATOS Formula: H₂O

SECCIÓN III.- COMPONENTES RIESGOSOS				
1.- % Y NOMBRE DE LOS COMPONENTES 100% Agua	2.- N° CAS 7732-18-5	3.- N° UN No regulado	4.- CANCERÍGENOS O TERATOGENICOS Ninguna	
5.- LIMITE PERMISIBLE DE CONCENTRACIÓN No aplica	6.- IPVS ppm No aplica	7.- GRADO DE RIESGO:		
		7.1.- SALUD Ninguna	7.2.- INFLAMABILIDAD Ninguna	7.3.- REACTIVIDAD Ninguna

SECCIÓN IV PROPIEDADES FÍSICAS	
1.- TEMPERATURA DE FUSIÓN, °C: 0°C	2.- TEMPERATURA DE EBULLICIÓN, °C: 100°C
3.- PRESIÓN DE VAPOR, mmHg A 20°C: 17,535	4.- DENSIDAD RELATIVA: 1,0
5.- DENSIDAD DE VAPOR (AIRE=1): 0,62	6.- SOLUBILIDAD EN AGUA, g/ml: No aplica
7.- REACTIVIDAD EN AGUA: No aplica	8.- ESTADO FÍSICO, COLOR Y OLOR: Líquido, Incoloro, Inodoro e Incipido
9.- VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN (BUTIL ACETATO=1): No disponible	10.- PUNTO DE INFLAMACIÓN: No aplica
11.- TEMPERATURA DE AUTOIGNICION (°C): No aplica	12.- PORCIENTO DE VOLATILIDAD, % : No disponible
13.- LIMITES DE INFLAMABILIDAD (%): INFERIOR:	No aplica SUPERIOR:

SECCIÓN V.- RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN				
1.- MEDIO DE EXTINCIÓN: No inflamable				
NIEBLA DE AGUA	ESPUMA	HALON:	CO2	POLVO QUÍMICO SECO
2.- EQUIPO ESPECIAL DE PROTECCIÓN (GENERAL) PARA COMBATE DE INCENDIO: No aplica				
3.- PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE COMBATE DE INCENDIO: No aplica				
4.- CONDICIONES QUE CONDUCEN A UN PELIGRO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN NO USUALES: No aplica				
5.- PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN: No aplica				

SECCIÓN VI.- DATOS DE REACTIVIDAD		
1.- SUSTANCIA		2.- CONDICIONES A EVITAR
ESTABLE <input checked="" type="checkbox"/>	INESTABLE	Materiales incompatibles
3.- INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIAS A EVITAR): Acido sulfúrico, Sodio, Potasio		
4.- DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES PELIGROSOS: Ninguno		
5.- POLIMERIZACIÓN PELIGROSA:		6.- CONDICIONES A EVITAR:
PUEDEN OCURRIR	NO PUEDE OCURRIR <input checked="" type="checkbox"/>	No aplica

SECCIÓN VII.- RIESGOS PARA LA SALUD		
VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS
1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL	Ninguno	Nunca de nada por la boca A una persona que se encuentre inconsciente.
2.- CONTACTO CON LOS OJOS	Ninguno	Ninguno
3.- CONTACTO CON LA PIEL	Ninguno	Ninguno
4.- ABSORCIÓN	Ninguno	Ninguno
5.- INHALACIÓN	Iritación en las vías tractorespiratorias	Ninguno
6.- SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO CANCERÍGENA: STPS (INST. No.10) SI _____ NO <input checked="" type="checkbox"/> OTROS _____ SI _____ NO _____ ESPECIFICAR		

SECCIÓN VIII.- INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAMES:

Contener para evitar la introducción a las vías fluviales, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.

SECCIÓN IX.- EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:**1.- ESPECIFICAR TIPO:**

Utilizar Guantes de LATEX

2.- PRACTICAS DE HIGIENE:

Ninguna

SECCIÓN X.- INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN (Deacuerdo con la reglamentacion del transporte):

Material clasificado como: No peligroso

Pictogramas:

Riesgo secundario: ninguno

UN: No regulado

Envase y embalaje: No regulado

NFPA: Salud (0), Inflamabilidad (0), Reactividad (0), Indic. Especial (Ninguno)

Ninguna

SECCIÓN XI.- INFORMACIÓN ECOLÓGICA(Deacuerdo con las reglamentaciones ecologicas)

Ecotoxicidad: Ninguna

SECCIÓN XII.- PRECAUCIONES ESPECIALES**1.- DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO:**

Se debe de almacenar y/o transportar por compatibilidad.

Debe estar debidamente etiquetado, la cual debe contener nombre del material.

2.- OTRAS:

Limpiar antes de volver a usar o alterar el contenido de un envase.

- METANOL

SECCIÓN II.- DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA	
1.- NOMBRE COMERCIAL Metanol	2.- NOMBRE QUÍMICO Alcohol metílico
3.- PESO MOLECULAR 32,04	4.- FAMILIA QUÍMICA Alcoholes
5.- SINÓNIMOS Carbinol, Alcohol Metílico.	6.- OTROS DATOS Formula: CH₃OH

SECCIÓN III.- COMPONENTES RIESGOSOS				
1.- % Y NOMBRE DE LOS COMPONENTES Metanol	2.- N° CAS 67-56-1	3.- N° UN 1230	4.- CANCERÍGENOS O TERATOGENICOS No es cancerígena	
5.- LIMITE PERMISIBLE DE CONCENTRACIÓN Referencia NOM-010-STPS-1994 200 ppm CPT 8Hrs de exposición 250 ppm CCT Exposición Corto tiempo	6.- IPVS ppm LD50:5628 mg/m ³ Oral Rata	7.- GRADO DE RIESGO:		
		7.1.- SALUD Moderado	7.2.- INFLAMABILIDAD Severa	7.3.- REACTIVIDAD Ligera

SECCIÓN IV PROPIEDADES FÍSICAS	
1.- TEMPERATURA DE FUSIÓN, °C: -98°C	2.- TEMPERATURA DE EBULLICIÓN, °C: 65°C
3.- PRESIÓN DE VAPOR, mmHg A 20°C: 97.68 mmHg @ 20°C, 41mmHg @ 50°C	4.- DENSIDAD RELATIVA: 0.791 g/ml
5.- DENSIDAD DE VAPOR (AIRE=1): 1,11	6.- SOLUBILIDAD EN AGUA, g/ml: Soluble
7.- REACTIVIDAD EN AGUA: Ninguna	8.- ESTADO FÍSICO, COLOR Y OLOR: Líquido, Claro Incoloro, Olor al alcohol etílico
9.- VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN (BUTIL ACETATO=1): 4,6	10.- PUNTO DE INFLAMACIÓN: 11°C
11.- TEMPERATURA DE AUTOIGNICION (°C): 470°C	12.- PORCIENTO DE VOLATILIDAD, % : 100%
13.- LIMITES DE INFLAMABILIDAD (%): en volumen	
INFERIOR: 6,00%	SUPERIOR: 36,50%
INFORMACION ADICIONAL: Aplicación y Uso: Solvente, Diluyente, Químico para alimentos enlatados, o Plastificante	

SECCIÓN V.- RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN				
1.- MEDIO DE EXTINCIÓN: Es altamente inflamable.				
NIEBLA DE AGUA <input checked="" type="checkbox"/>	ESPUMA <input checked="" type="checkbox"/> resistente al alcohol	HALON: <input checked="" type="checkbox"/>	CO2 Usar en fuegos pequeños	POLVO QUÍMICO SECO Usar en fuegos pequeños
2.- EQUIPO ESPECIAL DE PROTECCIÓN (GENERAL) PARA COMBATE DE INCENDIO: Mascarilla con suministro de oxígeno y ropa protectora para prevenir contacto con la piel y ojos.				
3.- PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE COMBATE DE INCENDIO: No combatir con chorro de agua directamente, no introducir agua a los contenedores.				
4.- CONDICIONES QUE CONDUCEN A UN PELIGRO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN NO USUALES: El vapor puede recorrer grandes distancias hacia una fuentes de ignición encenderse y regresar al material. Se liberan vapores que forman mezclas inflamables.				
5.- PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN: Monóxidos y Bioxidos de carbono.				

SECCIÓN VI.- DATOS DE REACTIVIDAD		
1.- SUSTANCIA		2.- CONDICIONES A EVITAR
ESTABLE <input checked="" type="checkbox"/> SI	INESTABLE	Oxidantes Fuertes Presiones elevadas, Altas Temperaturas.
3.- INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIAS A EVITAR): Ácidos inorgánicos, Aldehídos, Óxidos de Alqueno, Halógenos, Ácidos Anhídridos, Monómeros, Esteres Polimerizables Agentes Oxidantes Fuertes.		
4.- DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES PELIGROSOS: Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.		
5.- POLIMERIZACIÓN PELIGROSA:		6.- CONDICIONES A EVITAR:
PUEDEN OCURRIR	NO PUEDEN OCURRIR <input checked="" type="checkbox"/>	No se dispone de información

SECCIÓN VII.- RIESGOS PARA LA SALUD		
VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS
1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL	Moderadamente Tóxico. Menos de 15 ml de alcohol metílico al 40% puede ocasionar la muerte. Dosis pequeñas pueden ocasionar efectos en sistema nervioso central puede provocar ceguera.	De a beber inmediatamente agua, y enjuague la boca con agua. Induzca al vomito si la víctima esta consciente. Solicitar atención médica de inmediato.
2.- CONTACTO CON LOS OJOS	El vapor causa irritación a los ojos sin embargo no lesionara el tejido de los ojos. Puede causar dolor y sensibilidad a la luz solar.	Lavar suavemente con agua corriente durante 15 minutos abriendo ocasionalmente los párpados. Solicitar atención médica de inmediato.
3.- CONTACTO CON LA PIEL	Moderadamente Tóxico. Entrara al cuerpo a través de la piel y producira uno o mas efectos tóxicos en el cuerpo. El contacto frecuente o prolongado puede irritar la piel y ocasionar salpullido.	Lavar con agua corriente durante 15 min. al mismo tiempo quitarse la ropa contaminada y calzado. Solicite atención médica
4.- ABSORCIÓN	El alcohol metílico se puede absorber a través de la piel y ocasionar efectos en el sistema nervioso central los cuales pueden dar como resultado cambios visuales permanentes incluyendo ceguera.	Consulte a su médico de inmediato.
5.- INHALACIÓN	Las concentraciones altas de vapor son irritantes para los ojos, nariz, garganta y pulmones; puede ocasionar migraña y mareo puede ser anestésico y puede ocasionar efectos en sist. nervioso central, como cambios visuales incluyendo ceguera.	Traslade a un lugar con ventilación adecuada, Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Solicite atención médica.
6.- SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO CANCERÍGENA: STPS (INST. No.10) SI _____ NO <input checked="" type="checkbox"/> OTROS _____ SI _____ NO _____ ESPECIFICAR		

SECCIÓN VIII.- INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAMES:

ELIMINAR todas las fuentes de ignición. No tocar el material derramado.

Detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo. Utilizar agua en forma de rocío para reducir los vapores o desviar la nube de vapor. **NO INTRODUCIR AGUA A LOS CONTENEDORES.**

Contener para evitar la introducción a las vías fluviales, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.

Solicitar asistencia para su disposición.

SECCIÓN IX.- EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:**1.- ESPECIFICAR TIPO:**

Utilizar Guantes de Neopreno, Botas de Hule y Pechera de Vinilo.

Mascarillas con cartuchos para polvos y vapores organicos o bien utilizar Equipo de respiración autónomo.

2.- PRACTICAS DE HIGIENE:

Después de estar en contacto con este producto lavar con agua y jabón todo su equipo de seguridad.

Bañarse y lavar su uniforme para evitar que este contaminada con residuos del producto.

SECCIÓN X.- INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN (Deacuerdo con la reglamentecion del transporte):

Material clasificado como: Líquido Inflamable (3.2)

Pictogramas:

UN:1230

Grupo empaque: II

NFPA: Salud (1), Inflamabilidad (3), reactividad (0), Indic. especial (ninguna)

Referencia (NOM-002-SCT2-1994)

**SECCIÓN XI.- INFORMACIÓN ECOLÓGICA(Deacuerdo con las reglamentaciones ecologicas)**

El Metanol se caracteriza por su Mediana toxicidad cronica y aguda.

Productos de Biodegradación: Oxidos y monoxidos de carbono (CO y CQ)

SECCIÓN XII.- PRECAUCIONES ESPECIALES**1.- DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO:**

Se debe de almacenar y/o transportar por compatibilidad.

Debe estar debidamente etiquetado, la cual debe contener nombre del material, identificación de transporte(DOT) y color de almacenaje, junto con indicaciones de primeros auxilios.

2.- OTRAS:

Residuos del producto pueden permanecer en el recipiente "vacío". Para el manejo de los recipientes vacíos y residuos se deben de tomar las mismas precauciones que en el manejo del producto.

Limpia y lavar antes de volver a usar o alterar el contenido de un envase pegandole etiqueta de envase lavado.

- ETANOL

SECCIÓN II.- DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA	
1.- NOMBRE COMERCIAL Alcohol Etilico	2.- NOMBRE QUÍMICO <i>Alcohol Etilico</i>
3.- PESO MOLECULAR 46,07	4.- FAMILIA QUÍMICA Alcoholes
5.- SINÓNIMOS Ninguno	6.- OTROS DATOS Formula: CH₃CH₂OH

SECCIÓN III.- COMPONENTES RIESGOSOS				
1.- % Y NOMBRE DE LOS COMPONENTES Alcohol Etilico	2.- Nº CAS 64-17-5	3.- Nº UN 1170	4.- CANCERÍGENOS O TERATOGENICOS No es cancerigena	
5.- LIMITE PERMISIBLE DE CONCENTRACIÓN <i>Referencia: NOM-010-STPS-1994</i> 1000ppm 8Hrs de Exposición	6.- IPVS ppm No se dispone de información	7.- GRADO DE RIESGO:		
		7.1.- SALUD ligero	7.2.- INFLAMABILIDAD severa	7.3.- REACTIVIDAD ligera

SECCIÓN IV PROPIEDADES FÍSICAS	
1.- TEMPERATURA DE FUSIÓN, °C: No se dispone de informacion	2.- TEMPERATURA DE EBULLICIÓN, °C: 78.5 °C
3.- PRESIÓN DE VAPOR, mmHg A 20°C: 50 mmHg @ 44.5°C	4.- DENSIDAD RELATIVA: 0.7972
5.- DENSIDAD DE VAPOR (AIRE=1): 1,50	6.- SOLUBILIDAD EN AGUA, g/ml: 100% Miscible en agua
7.- REACTIVIDAD EN AGUA: Ninguna	8.- ESTADO FÍSICO, COLOR Y OLOR: Liquido incoloro, olor a alcohol
9.- VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN (BUTIL ACETATO=1): No se dispone de informacion	10.- PUNTO DE INFLAMACIÓN: 11°C
11.- TEMPERATURA DE AUTOIGNICION (°C): 423°C	12.- PORCIENTO DE VOLATILIDAD, % : No se dispone de informacion
13.- LIMITES DE INFLAMABILIDAD (%): INFERIOR: 3,3% SUPERIOR: 19,0%	
INFORMACION ADICIONAL: Este producto es miscible en alcohol, cloroformo, aceites y eteres.	

SECCIÓN V.- RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN				
1.- MEDIO DE EXTINCIÓN: Es altamente inflamable aun diluido con agua.				
NIEBLA DE AGUA ✓	ESPUMA (ATC) ✓ compatible con alcohol	HALON: ✓	CO2 Usar en fuegos pequeños	POLVO QUÍMICO SECO Usar en fuegos pequeños
2.- EQUIPO ESPECIAL DE PROTECCIÓN (GENERAL) PARA COMBATE DE INCENDIO: Mascarilla con suministro de oxígeno y ropa protectora para prevenir contacto con la piel y ojos.				
3.- PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE COMBATE DE INCENDIO: No combatir con chorro de agua directamente, no introducir agua a los contenedores.				
4.- CONDICIONES QUE CONDUCEN A UN PELIGRO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN NO USUALES: Los materiales inflamables pueden liberar vapores que recorren grandes distancias, se encienden y se incendian de retroceso, Los recipientes pueden explotar en un incendio. No los expongan a chispas o flamas. Emplee espuma compatible con alcohol. <i>La flama es invisible en la luz del dia.</i>				
5.- PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN: Agua, Monóxido y Bóxido de Carbono, Aldehídos Irritantes, Acetonas.				
SECCIÓN VI.- DATOS DE REACTIVIDAD				
1.- SUSTANCIA			2.- CONDICIONES A EVITAR	
ESTABLE	Si	INESTABLE	Fuentes de ignición Oxidantes Fuertes, Altas temperaturas.	
3.- INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIAS A EVITAR): Bromoformo, cloroformo, peróxido de metilcetona, Oxidantes Fuertes.				
4.- DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES PELIGROSOS: No se dispone de información				
5.- POLIMERIZACIÓN PELIGROSA:			6.- CONDICIONES A EVITAR:	
PUEDE OCURRIR	NO PUEDE OCURRIR ✓		No se dispone de información	
SECCIÓN VII.- RIESGOS PARA LA SALUD				
VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS DEL LESIONADO		PRIMEROS AUXILIOS	
1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL	El producto causa irritación gástrica, dolor abdominal y vómito.		De a beber inmediatamente agua, y enjuague la boca con agua. No induzca al vómito. Solicitar atención médica de inmediato.	
2.- CONTACTO CON LOS OJOS	El vapor causa irritación a los ojos y el líquido puede causar daño a la córnea. Exceso de lagrimeo y parpadeo. Enrojecimiento excesivo del ojo.		Lavar suavemente con agua corriente durante 15 minutos abriendo ocasionalmente los párpados. Solicitar atención médica de inmediato.	
3.- CONTACTO CON LA PIEL	El contacto prolongado y repetitivo a la piel puede producir malestar, enrojecimiento local y posible inflamación.		Lavar con agua corriente durante 15 min. al mismo tiempo quitarse la ropa contaminada y calzado. Solicite atención médica	
4.- ABSORCIÓN	El alcohol etílico se absorbe rápidamente después de la ingestión. Los síntomas iniciales de intoxicación aguda incluye excitación, cambios de comportamiento, dificultad para hablar y caminar, mareos, tambaleo, somnolencia, sueño, estupor y coma. Sudoración, náuseas y vómito		Consulte a su médico de inmediato.	
5.- INHALACIÓN	La exposición aguda puede irritar los ojos, causar lagrimeo, con irritación de nariz y garganta. Alta concentración altera el sistema nervioso. Inconsciencia y la asfixia.		Traslade a un lugar con ventilación adecuada, Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Si NO respira inicie la respiración cardio pulmonar. Solicite atención médica.	
6.- SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO CANCERÍGENA: STPS (INST. No.10) SI _____ NO _____ ✓ OTROS _____ SI _____ NO _____ ESPECIFICAR				

SECCIÓN VIII.- INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAMES:

ELIMINAR todas las fuentes de ignición. No tocar el material derramado.

Detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo. Utilizar agua en forma de rocío para reducir los vapores o desviar la nube de vapor. **NO INTRODUCIR AGUA A LOS CONTENEDORES.**

Contener para evitar la introducción a las vías fluviales, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.

Solicitar asistencia para su disposición. Llamar al telefono de emergencias para mayor informacion.

SECCIÓN IX.- EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:**1.- ESPECIFICAR TIPO:**

Utilizar Guantes de Neopreno, Botas de Hule y Pechera de Vinilo.

Mascarillas con cartuchos para vapores organicos, aprobados por OSHA en 29 CFR 1010.134. o bien utilizar Equipo de respiración autónomo.

2.- PRACTICAS DE HIGIENE:

Después de estar en contacto con este producto lavar con agua y jabón todo su equipo de seguridad.

Bañarse y lavar su uniforme para evitar que este contaminada con residuos del producto.

SECCIÓN X.- INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN (Deacuerdo con la reglamentacion del transporte):

Material clasificado como: Líquido Inflamable (3.2)

Pictogramas:

UN: 1170,

Grupo de empaque: II,

N.F.P.A.: Salud(0), Inflamabilidad(3), Reactividad(0), Indicación especial(ninguna)

(Referencia: NOM-002-SCT-1994)

**SECCIÓN XI.- INFORMACIÓN ECOLÓGICA(Deacuerdo con las reglamentaciones ecologicas)**

El Alcohol Etilico es considerado ligeramente toxica

Alto peligro de incendio y combustion, residuo (D001)

SECCIÓN XII.- PRECAUCIONES ESPECIALES**1.- DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO:**

- * Se debe de almacenar y/o transportar por compatibilidad.
- * Estar debidamente etiquetado
- * Tener el color de almacenaje,
- * Indicaciones de primeros auxilios.

2.- OTRAS:

Residuos del producto pueden permanecer en el recipiente "vacío". Para el manejo de los recipientes vacíos y residuos se deben de tomar las mismas precauciones que en el manejo del producto.

Limpiar y lavar antes de volver a usar o alterar el contenido de un envase pegandole etiqueta de envase lavado.

SECCIÓN V.- RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN			
1.- MEDIO DE EXTINCIÓN: Es altamente inflamable aún diluido con agua.			
<input checked="" type="checkbox"/> NIEBLA DE AGUA para fuegos grandes y pequeños	<input checked="" type="checkbox"/> ESPUMA (ATC) compatible con alcohol	<input type="checkbox"/> HALON:	<input checked="" type="checkbox"/> CO2 para fuegos pequeños
<input checked="" type="checkbox"/> POLVO QUÍMICO SECO para fuegos pequeños			
2.- EQUIPO ESPECIAL DE PROTECCIÓN (GENERAL) PARA COMBATE DE INCENDIO: Mascarilla con suministro de oxígeno y ropa protectora para prevenir contacto con la piel y ojos.			
3.- PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE COMBATE DE INCENDIO: No combatir con chorro de agua directamente, no introducir agua a los contenedores.			
4.- CONDICIONES QUE CONDUCEN A UN PELIGRO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN NO USUALES: Los materiales inflamables pueden liberar vapores que recorren grandes distancias, se encienden y se incendian de retroceso, Los recipientes pueden explotar en un incendio. No los expongan a chispas o flamas. Emplee espuma compatible con alcohol. En contacto con oxidantes fuertes puede causar fuego o explosión.			
5.- PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN: Agua, Monóxido y Bióxido de Carbono.			
SECCIÓN VI.- DATOS DE REACTIVIDAD			
1.- SUSTANCIA		2.- CONDICIONES A EVITAR	
ESTABLE	Si	INESTABLE	Fuentes de ignición Oxidantes y ácidos Fuertes, Altas temperaturas. Luz Solar
3.- INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIAS A EVITAR): Ácidos y Oxidantes fuertes, Acetaldehído, Cloro, Oxido de etileno, Combinación de Peróxido de Hidrogeno-Acido sulfúrico, Combinación Potassium tert-butoxide, Acido Hipocloroso, Isocianato, Fosgenos, Acido Perclorico.			
4.- DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES PELIGROSOS: Gases tóxicos y vapores como monóxido de carbono.			
5.- POLIMERIZACIÓN PELIGROSA:		6.- CONDICIONES A EVITAR:	
PUEDE OCURRIR	NO PUEDE OCURRIR <input checked="" type="checkbox"/>	No se dispone de información	
SECCIÓN VII.- RIESGOS PARA LA SALUD			
VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS	
1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL	El producto causa irritación gástrica, dolor abdominal y vomito. inconsciencia, Es letal para adulto 250 ml (SAX Sixth Edition)	De a beber inmediatamente agua, y enjuague la boca con agua. NO induzca al vomito. Solicitar atención medica de inmediato.	
2.- CONTACTO CON LOS OJOS	El vapor causa imitación a los ojos y el liquido puede causar daño a la cornea. Exceso de lagrimeo y parpadeo Enrojecimiento excesivo del ojo.	Lavar suavemente con agua corriente durante 15 minutos abriendo ocasionalmente los párpados. Solicitar atención medica de inmediato.	
3.- CONTACTO CON LA PIEL	El contacto con la piel causa ardor e irritación.	Lavar con agua corriente durante 15 min. al mismo tiempo quitarse la ropa contaminada y calzado. Solicite atención medica	
4.- ABSORCIÓN	A las personas sensibles a los alcoholes puede tener efectos secundarios.	Consulte a su medico de inmediato.	
5.- INHALACIÓN	Causa irritación del sistema respiratorio Altas concentraciones tiene un efecto narcotico, Produce en efecto de somnolencia, inconsciencia y hasta la muerte.	Traslade a un lugar con ventilación adecuada, Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Si NO respira inicie la respiración artificial. Solicite atención medica.	
6.- SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO CANCERÍGENA: STPS (INST. No.10) SI _____ NO <input checked="" type="checkbox"/> OTROS _____ SI _____ NO _____ ESPECIFICAR			

SECCIÓN VIII.- INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAMES:

ELIMINAR todas las fuentes de ignición. No tocar el material derramado.

Detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo. Utilizar agua en forma de rocío para reducir los vapores o desviar la nube de vapor. **NO INTRODUCIR AGUA A LOS CONTENEDORES.**

Contener para evitar la introducción a las vías fluviales, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.

Solicitar asistencia para su disposición.

SECCIÓN IX.- EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:**1.- ESPECIFICAR TIPO:**

Utilizar Guantes de Neopreno, Botas de Hule y Pechera de Vinilo.

Mascarillas con cartuchos para vapores orgánicos, aprobados por OSHA en 29 CFR 1010.134. o bien utilizar

Equipo de respiración autónomo.

2.- PRACTICAS DE HIGIENE:

Después de estar en contacto con este producto lavar con agua y jabón todo su equipo de seguridad.

Bañarse y lavar su uniforme para evitar que este contaminada con residuos del producto.

SECCIÓN X.- INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN (De acuerdo con la reglamentación del transporte):

Material clasificado como: Líquido Inflamable (3),

Pictogramas:

UN: 1219

Grupo de Empaque: II

NFPA: Salud (1), Inflamabilidad (3), reactividad (0), Indic. especial (ninguna)

Referencia (NOM-002-SCT2-1994)

**SECCIÓN XI.- INFORMACIÓN ECOLÓGICA (De acuerdo con las reglamentaciones ecológicas)**

Ecotoxicidad: No regulado

Productos de Biodegradación: Oxidos de Carbono (CO y CO₂)

Alto peligro de incendio y combustión, residuo (D001)

SECCIÓN XII.- PRECAUCIONES ESPECIALES**1.- DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO:**

* Se debe de almacenar y/o transportar por compatibilidad.

* Estar debidamente etiquetado

* Tener el color de almacenaje,

* Indicaciones de primeros auxilios.

2.- OTRAS:

Residuos del producto pueden permanecer en el recipiente "vacío". Para el manejo de los recipientes vacíos y residuos se deben de tomar las mismas precauciones que en el manejo del producto.

Limpia y lavar antes de volver a usar o alterar el contenido de un envase pegándole etiqueta de envase lavado.

10. Apéndice J: Pantallas HMI programa de operación

Figura No. 75 Pantalla inicial



Figura No. 76 Pantalla instrucciones



Figura No. 77 Pantalla chequeo

19/11/2012 11:50:32 a.m.

LISTA DE CHEQUEO

ANTES DE EMPEZAR LA PRÁCTICA REVISAR LO SIGUIENTE:

1. Verificar que las válvulas de paso se encuentran cerradas.
(Válvula solenoide y válvula de bola).
2. Llenar el recipiente en la parte superior de la torre a su capacidad máxima (5 galones).
3. Humedecer con el líquido a utilizar los sensores de bulbo húmedo.
4. Verificar que la faja del ventilador no se encuentra obstruida con ningún objeto.

MANUAL

AUTOMÁTICO

REGRESAR

Figura No. 78 Pantalla modo manual

19/11/2012 11:50:59 a.m.

GRÁFICA

REGRESAR

TERMINAR

Valvula OFF

TEMPERATURA ENTRADA LIQUIDO: 19.98 °C

PESO LIQUIDO ENTRADA: 10.75 kg

CAIDA DE PRESIÓN EN SECCIÓN MOJADA: 0.049 " de agua

TEMPERATURA SALIDA DE GAS: 26.45 °C

TEMPERATURA BULBO HUMEDO: 24.45 °C

TEMPERATURA BULBO HUMEDO ENTRADA: 21.65 °C

TEMPERATURA ENTRADA DE GAS: 23.53 °C

TEMPERATURA SALIDA LIQUIDO: 18.55 °C

PESO LIQUIDO SALIDA: 13.47 kg

VELOCIDAD DE GAS: 0.003 m/s

Velocidad: 3.000 m/s

OFF

Gráfica Masa vs Tiempo

lunes, 19 de noviembre de 2012

30.00
29.52
29.05
28.57
28.10
27.62
27.14
26.67
26.19
25.71
25.24
24.76
24.29
23.81
23.33
22.85
22.38
21.90
21.42
20.94
20.46
19.98
19.50
19.02
18.54
18.06
17.58
17.10
16.62
16.14
15.66
15.18
14.70
14.22
13.74
13.26
12.78
12.30
11.82
11.34
10.86
10.38
9.90
9.42
8.94
8.46
7.98
7.50
7.02
6.54
6.06
5.58
5.10
4.62
4.14
3.66
3.18
2.70
2.22
1.74
1.26
0.78
0.30
-0.18

11:50:55.831 11:55:55.831

10.75 — Masa de entrada

13.47 — Masa de salida

Figura No. 79 Pantalla modo automático

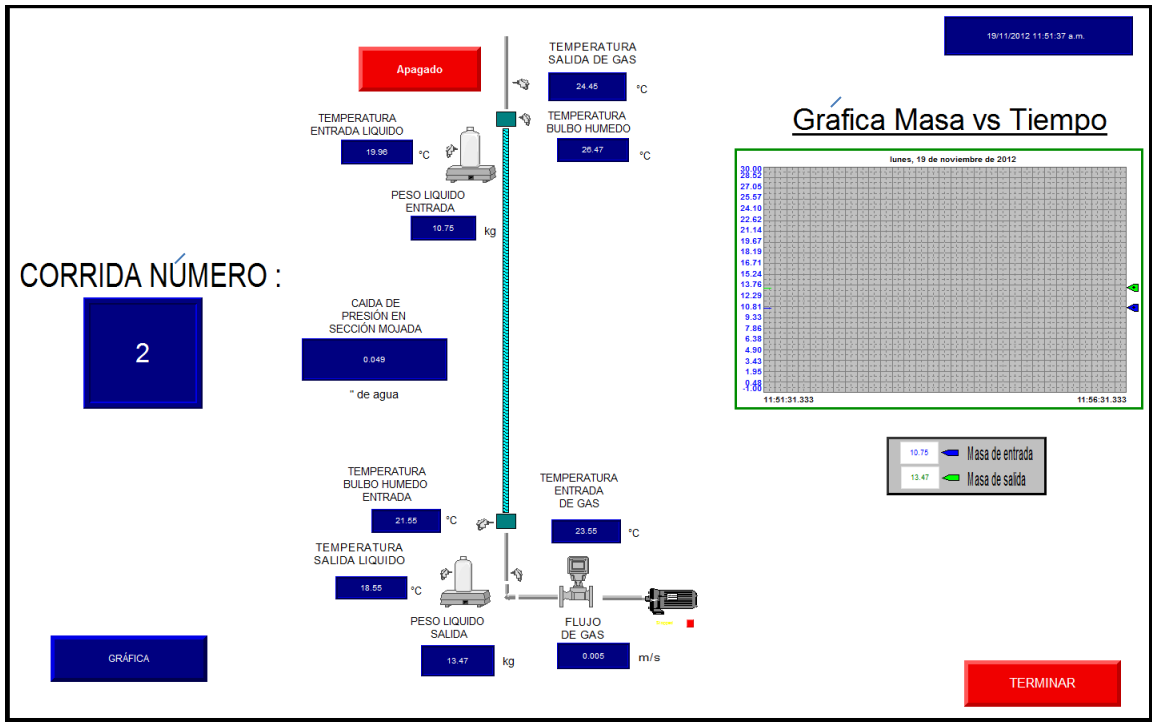
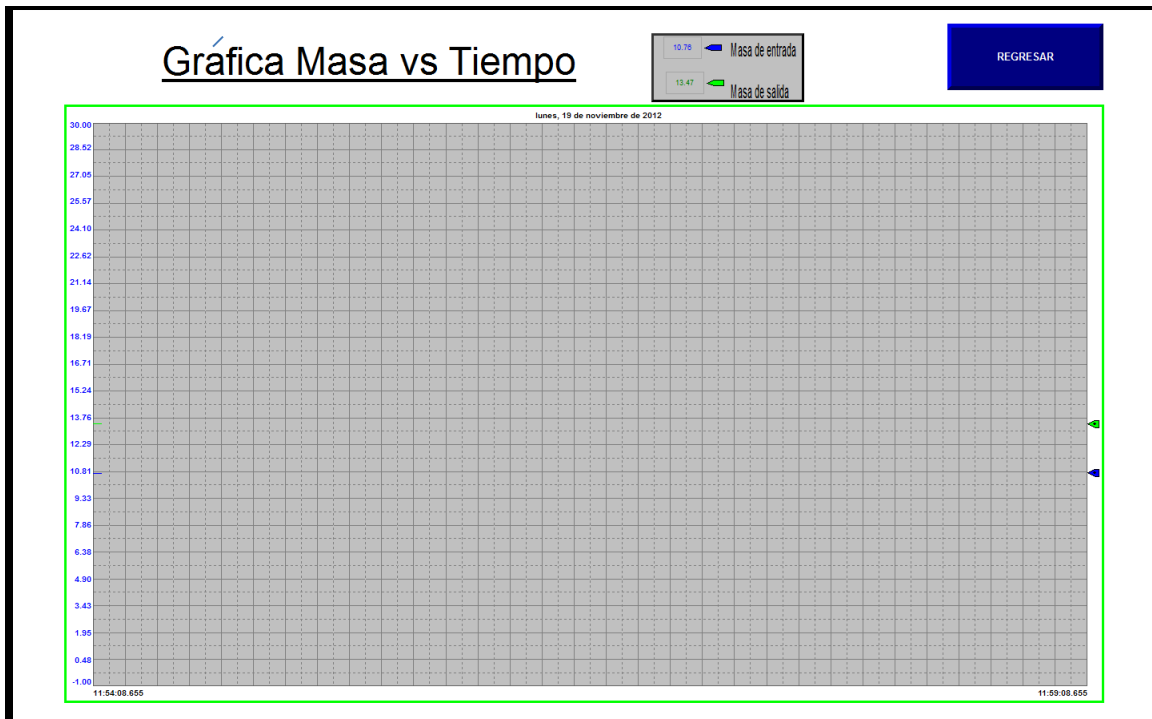


Figura No. 80 Pantalla masa vs. tiempo



11. Apéndice K: Glosario

- Gestión: Acción y efecto de administrar.
- PLC: programmable logic controller (controlador lógico programable).
- HMI: Human Machine Interface (interface humano – hombre)
- Metanol: Alcohol cuya molécula tiene un átomo de carbono. Es un líquido incoloro, semejante en su olor y otras propiedades al alcohol etílico. Es tóxico.
- Etanol: alcohol cuya molécula tiene dos átomos de carbono. Es un líquido incoloro, de sabor urente y olor fuerte, que arde fácilmente dando llama azulada y poco luminosa. Se obtiene por destilación de productos de fermentación de sustancias azucaradas o feculentas, como uva, melaza, remolacha, patata. Forma parte de muchas bebidas, como vino, aguardiente, cerveza, etc., y tiene muchas aplicaciones industriales.
- 2-propanol: alcohol incoloro, inflamable, con un olor intenso y muy miscible con el agua. es el ejemplo más sencillo de alcohol secundario, donde el carbono del grupo alcohol está unido a otros dos carbonos.
- Flux: flujo continuo.
- NSc (número de Schmitt): número adimensional definido como el cociente entre la difusión de cantidad de movimiento y la difusión de masa, y se utiliza para caracterizar flujos en los que hay procesos convectivos de cantidad de movimiento y masa.
- NRe (número de Reynolds): número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.
- NSh: número adimensional utilizado en transferencia de masa. Representa el cociente entre la transferencia de masa por convección y difusión.
- Placa de orificio: elemento primario para la medición de flujo más sencillo, es una lámina plana circular con un orificio concéntrico, excéntrico o segmentado, tiene una dimensión exterior igual al espacio interno que existe entre los tornillos de las bridas del montaje, el espesor del disco depende del tamaño de la tubería y la temperatura de operación.