

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Segunda fase de automatización del Laboratorio de Operaciones  
Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por los siguientes estudiantes para optar a los grados  
académicos de:

José Rodrigo Moll Durán, Licenciado en Ingeniería Química.

César Aguirre, Licenciado en Ingeniería Electrónica.

Byron Roberto Galindo Bran, Licenciado en Ingeniería Electrónica.

Ricardo Escobar, Licenciado en Ingeniería Electrónica.

Juan José Ovando Zelaya, Licenciado en Ingeniería Industrial.

Samuel Mayorga, Licenciado en Ingeniería en Ciencias de la Computación.

Guatemala

2009



Segunda fase de automatización del Laboratorio de Operaciones  
Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Segunda fase de automatización del Laboratorio de Operaciones  
Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por los siguientes estudiantes para optar a los grados  
académicos de:

José Rodrigo Moll Durán, Licenciado en Ingeniería Química.

César Aguirre, Licenciado en Ingeniería electrónica.

Byron Roberto Galindo Bran, Licenciado en Ingeniería electrónica.

Ricardo Escobar, Licenciado en Ingeniería electrónica.

Juan José Ovando Zelaya, Licenciado en Ingeniería Industrial.

Samuel Mayorga, Licenciado en Ingeniería en Ciencias de la Computación.

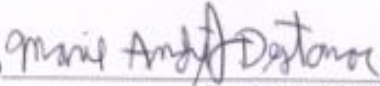
Guatemala

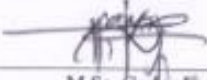
2009


Vo.Bo.:

(0)   
M.Sc. Carlos Esquit

Tribunal:

(0)   
Inga. Marie André Destarac

(0)   
M.Sc. Carlos Esquit

(0)   
M.Sc. Gamaliel Zambrano

Fecha de aprobación: 28 de Noviembre de 2009

## CONTENIDO

	Página No.
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABLAS .....	x
RESUMEN .....	xi
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS .....	3
III. MARCO TEÓRICO.....	4
IV. ANTECEDENTES.....	39
V. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA	40
VI. METODOLOGÍA.....	42
VII. RESULTADOS.....	80
VIII. DISCUSIÓN GLOBAL.....	112
IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	122
XII. APÉNDICE.....	126
XIII. GLOSARIO.....	127

## LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Página No.
1. Diagrama de bloques Megaproyecto Automatización Fase II .....	2
2. Diagrama de la torre de destilación.....	9
3. Diagrama de entalpía en función de la concentración...	11
4. Grafico del diagrama xy.....	12
5. Código de colores de los termopares.....	17
6. Triángulo de ignición.....	17
7. Partes básicas de IS.....	18
8. Partes de IS aplicado a nuestro equipo.....	18
9. Modelo para medición de nivel de tanque.....	19
10. Circuito acondicionador de señal.....	21
11. Amplificador diferencial.....	21
12. Diagrama de bloques del protocolo de comunicación SPI.....	23
13. Diagrama de tiempos de una transmisión asíncrona....	23
14. Topología general del protocolo SPI.....	25
15. Idea general de un sistema balanceado.....	26
16. Vista física de un SitePlayer.....	34
17. Topología general del proyecto de automatización .....	43
18. Diagrama de bloques de cada microcontrolador esclavo.	45
19. Diagrama general de la columna de destilación.....	46
20. Diagrama de las variables del sistema de medición de volumen.....	47
21. Modelo para la derivación de la ley de Torricelli.....	49
22. Modelo ecuación diferencial que describe el vaciado de un tanque.....	49
23. Funcionamiento de la comunicación entre módulos.....	51
24. Esquema general del control de flujo de alimentación...	57
25. Esquema general del control de presión de vapor del calderín.....	57
26. Esquema general del control de presión de vapor del calderín.....	57
27. Esquema general del control de reflujo al primer plato.	58
28. Esquema general de interfaz web.....	60

## CONTINUACIÓN LISTA DE FIGURAS

Figura No.		Página No.
29.	Diagrama entidad relación de las tablas utilizadas en la base de datos.....	65
30.	Diseño de la página inicial de la aplicación web.....	67
31.	Página para el ingreso y registro de usuarios.....	67
32.	Formulario de inscripción en el sistema.....	68
33.	Panel de administración de proyectos.....	70
34.	Formulario de ingreso de nuevos proyectos.....	71
35.	Posición de las variables dentro de una trama serial.....	72
36.	Forma para ingreso, modificación y supresión de variables.....	72
37.	Forma para definir datos y sus transformaciones.....	73
38.	Flujo de datos trabajando con un Siteplayer .....	77
39.	Diagrama del proceso e instrumentación.....	82
40.	Diagrama de flujo, CuvPresión(P).....	86
41.	Diagrama de flujo, BURBT(P, $x_i$ ).....	87
42.	Entalpía de disolución para la mezcla de etanol-agua.....	88
43.	Diagrama de flujo, entalpía(T, $x_1$ , $y_1$ , P).....	90
44.	Diagrama de flujo, BME(F, $x_F$ , $T_F$ , $x_D$ , $X_w$ ) .....	92
45.	Diagrama de flujo, Refmin( $x_F$ , $H_{F,L}$ , $x_D$ , $H_{D,G}$ , $H_{D,LX_w}$ ).....	93
46.	Diagrama de flujo, Platmin(P, $x_D$ , $x_W$ ).....	94
47.	Diagrama de flujo, ROCIOT(P, $y_i$ ).....	95
48.	Diagrama de flujo Ropt(F, D, $x_F$ , $H_{F,L}$ , $HT_F$ , $x_D$ , $H_{D,G}$ , $H_{D,L}$ , $X_w$ , $T_F$ , $x_D$ , $x_W$ , $H_{W,L}$ , $R_m$ , $N_m$ , $N_{des}$ , $L_{o,m}$ ) .....	96
49.	Diagrama de flujo, BURBP(T, $x_1$ ) .....	100
50.	Diagrama de flujo Expe( $T_1$ - $T_{10}$ , $x_1$ - $x_{10}$ , $T_{max}$ , $T_{min}$ , $m_{cond}$ , $P_{vap}$ ).....	101
51.	Vista de la aplicación sección ideal.....	102
52.	Vista de la aplicación sección experimental.....	103
53.	Logo Megaproyecto de Automatización Fase II.....	104
54.	Diseño material publicitario.....	105
55.	Cronograma de actividades primer semestre año 2009...	106
56.	Cronograma de actividades segundo semestre año 2009..	108
57.	Actividades críticas de Megaproyecto Automatización Fase II.....	109
58.	Diagrama de bloques Megaproyecto Automatización Fase III.....	110
59.	Logo Megaproyecto Automatización Fase III.....	127

## LISTA DE TABLAS

Tabla No.		Página No.
1.	Parámetros del subgrupo de EVL-UVIFAC.....	7
2.	Parámetros de interacción de los grupo de EVL-UVIFAC .....	7
3.	Entalpía de disolución de la mezcla etanol-agua.....	13
4.	Entalpía de disolución de la mezcla etanol-agua (ii).....	14
5.	Tipos de termopares.....	16
6.	Tabla de temperaturas mínimas para una auto explosión.....	17
7.	Comparación entre modelo OSI y TCP/IP.....	28
8.	Trama de datos a enviar .....	51
9.	Estructura de tramas externas utilizadas .....	54
10.	Orden y manejo de tramas externas.....	54
11.	Configuración del puerto serial para transmisión de datos.....	62
12.	Comandos a utilizarse para la lectura y escritura vía serial.....	62
13.	Estructura de una trama para comunicación serial.....	63
14.	Tipos de usuarios en el sistema.....	68
15.	Gramática utilizada para el análisis de expresiones.....	74
16.	Operadores para la creación de definiciones de datos...	74
17.	Archivo de configuración del SitePlayer.....	77
18.	Mapeo de memoria dentro del Siteplayer.....	78
19.	Listado de la instrumentación y equipo de la torre de destilación .....	83

## RESUMEN

Este trabajo de graduación nace luego de que en el año 2008 iniciara una serie de proyectos multidisciplinarios entre los departamentos de Ingeniería Química e Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) con el objetivo de lograr tener un equipo moderno y automatizado de vanguardia en el Laboratorio de Operaciones Unitarias del campus central. El departamento de Ingeniería Electrónica de UVG se ha caracterizado siempre por contar con estudiantes con un alto nivel académico, por lo que estos mismos estudiantes, asesorados por los futuros ingenieros químicos, se han dado a la tarea de transformar los equipos mecánicos y manuales del laboratorio de operaciones unitarias en equipos automatizados haciendo en su conjunto un laboratorio moderno. Así empezó la primera fase de automatización del laboratorio, donde se logró automatizar una columna de absorción.

Este Megaproyecto consiste en la automatización de la columna de destilación. Este proceso se efectuó a través del trabajo de seis personas. Tres de ellos estudiantes de Ingeniería Electrónica, un estudiante de Ingeniería Química un estudiante de Ingeniería en Ciencias de la Computación y un estudiante de Ingeniería Industrial. El trabajo completo se divide en submódulos interdependientes donde cada miembro del grupo es responsable de tareas específicas. El objetivo principal del Megaproyecto consistió en la instalación de equipo electrónico controlado por una interfaz amigable de usuario, logrando así una columna de destilación totalmente automatizada y con modo manual disponible.

# I. INTRODUCCIÓN

El inicio de esta serie de proyectos multidisciplinarios entre los departamentos de Ingeniería Química e Ingeniería Electrónica surge con la iniciativa del Departamento de Ingeniería Química de la UVG de invertir en el Laboratorio de Operaciones Unitarias con el objetivo de lograr tener un equipo moderno y automatizado de vanguardia. La solución para su inquietud estaba dentro de la misma universidad. El departamento de Ingeniería Electrónica de UVG se ha caracterizado siempre por contar con egresados con un alto nivel, por lo que podrían ser estos mismos estudiantes quienes asesorados por los futuros ingenieros químicos, pudiera transformar los equipos mecánicos y manuales del laboratorio de operaciones unitarias en equipos automatizados haciendo en su conjunto un laboratorio moderno, comparable con las grandes industrias que operan hoy en día en el mundo moderno.

Fue así como se empezó la primera fase de automatización del laboratorio, donde se logró automatizar una columna de absorción. Dicho proyecto fue realizado por el ahora Ingeniero Electrónico Otto Girón. Después de la exitosa primera fase de automatización industrial rápidamente se fueron abriendo puertas para que más estudiantes se fueran involucrando en el proyecto, y fue así como se nace la segunda fase de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias, el cual tuvo los siguientes requerimientos para el módulo de columna de destilación:

- Automatizar la columna de destilación del Laboratorio de Operaciones Unitarias de UVG.
- Crear un interfaz de manejo amigable con el usuario.
- Colocar los datos en Internet por medio de una red WiMax.
- Mantener el funcionamiento mecánico y el automatizado en paralelo para fines didácticos.

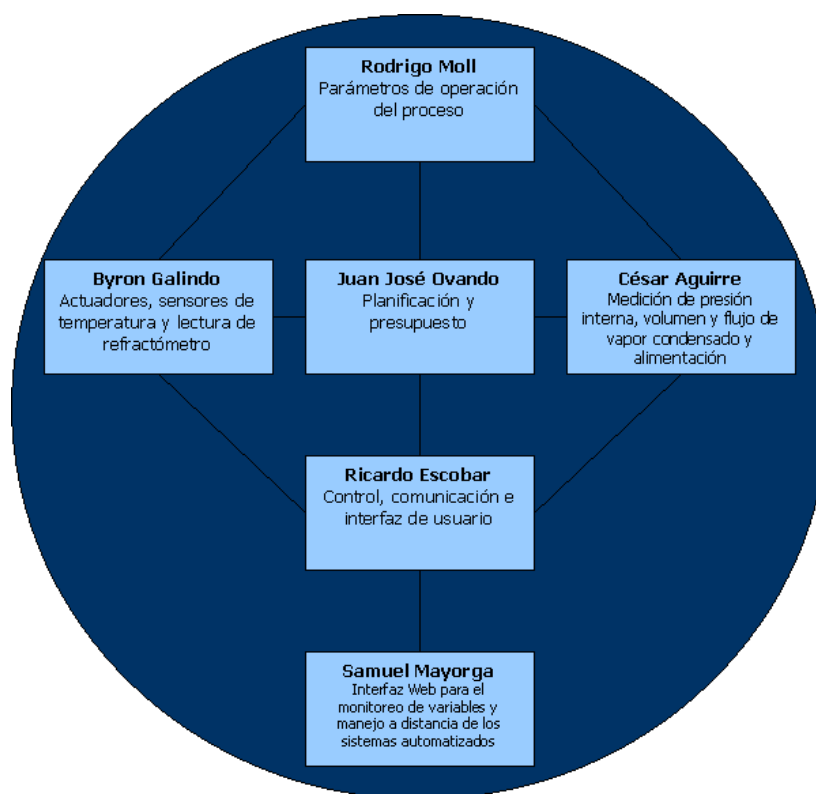
El Megaproyecto se desarrolló finalmente con la conformación de módulos enfocados en la automatización de la columna de destilación del Laboratorio de Operaciones Unitarias. Por aparte se trabajó la automatización de variadores de frecuencia en la modalidad de trabajo de graduación individual. Los módulos finales son:

- Módulo de parámetros de operación del proceso: Brindar asesoría, al resto de módulos para la comprensión del funcionamiento de la Torre de Destilación del Laboratorio de Operaciones Unitarias.
- Módulo de actuadores, sensores de temperatura y lectura de refractómetro: Programación de microcontroladores para válvulas, sensores de temperatura y de presión.
- Módulo de medición de presión interna, volumen y flujo de vapor condensado y alimentación: Medición del vapor de entrada de la columna de destilación y determinación del flujo de vapor de entrada.
- Módulo de control, comunicación e interfaz de usuario: Desarrollo de interfaz amigable con los resultados del proceso versus los teóricos; y el control de todas las válvulas implicadas en el proceso.

- Módulo de interfaz web para el monitoreo de variables y manejo a distancia de los sistemas automatizados: Ofrecer una interfaz computacional a los usuarios de estos sistemas. Esta interfaz fue desarrollado con tecnologías web para favorecer la concurrencia de usuarios.
- Módulo de planificación y presupuesto: Planificación de actividades de Megaproyecto, así como el seguimiento de todas las compras involucradas en el mismo.

En la Figura No.1 se detalla, por módulo, el papel de cada integrante del grupo de trabajo.

Figura 1: Diagrama de bloques de Megaproyecto: Automatización del Laboratorio Operaciones Unitarias Fase II.



## II. OBJETIVOS

### A. GENERAL

Continuar con la segunda fase de la automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, la cual comprende la torre de destilación, variadores de frecuencia y conexión a la red ZigBee.

### B. ESPECÍFICOS

1. Automatizar la torre de destilación del laboratorio de operaciones unitarias de la UVG, elaborando el diagrama de procesos e instrumentación, la predicción de parámetros de operación de la torre de destilación, determinación de parámetros de la torre de destilación por medio del método de Ponchon-Savait y pruebas de arranque de la torre de destilación.
2. Control de todas las válvulas implicadas en un proceso completo de destilación.
3. Control de los variadores de frecuencia en la red interna de motores.
4. Desplegar en una aplicación las temperaturas de cada uno de los platos de la torre de destilación, así como los datos de corriente, voltaje, torque y revoluciones por minuto de los motores que medirán los variadores de frecuencia.
5. Desplegar en una aplicación los valores de las presiones en los puntos críticos de la columna (serpentín y parte superior de la columna).
6. Determinar la cantidad exacta de vapor de agua utilizado durante el proceso mediante la instalación de un medidor de caudal.
7. Desarrollar un control adecuado de los tres tipos de reflujo:
  - Desde el condensador al plato 1 (superior)
  - Desde un tanque externo con solución fría a cualquier plato.
  - Desde el condensador a cualquier plato
8. Montar una red interna con los módulos de los variadores de frecuencia instalados en el laboratorio de operaciones unitarias.
9. Establecer comunicación (mandar resultados) con la red ZigBee.
10. Desarrollar una comunicación robusta entre los micro-controladores, la computadora y Siteplayer; diseñar e implementar los lazos de control necesarios para obtener una concentración deseada por el usuario. Además crear una interfaz amigable y funcional.
11. Desarrollar una aplicación multiplataforma capaz de comunicarse con todos los módulos de automatización desarrollados en las fases del Megaproyecto, Automatización de Operaciones Unitarias, de modo que sea posible monitorear e interactuar con todos los sensores y actuadores involucrados en el sistema.

### III. MARCO TEÓRICO

#### A. Marco Teórico Químico

##### 1. Definiciones

- a. **Fracción Molar:** Es la relación que existe entre los moles presentes en una mezcla, corresponde a la siguiente ecuación:

$$x_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad \text{Ecuación 1}$$

Para facilitar la nomenclatura la fracción líquida será representada por la letra, x, la fracción de los gases se representada por la letra, y. (Levine, I. 2004)

- b. **Energía interna:** Es la energía que posee un cuerpo, debida a los movimientos moleculares y las interacciones intermoleculares. La energía interna está compuesta por la energía molecular electrónica, la energía trasnacional, la energía vibracional, energía rotacional, ect. dicha energía es relativa de la masa en reposo, es decir de los electrones, el núcleo y la energía potencial de interacción entre las moléculas. Para fines prácticos se deben realizar mediciones de la variación de esta misma, no se determinará el valor exacto. (Levine, I. 2004)

- c. **Entalpía:** Es una propiedad intrínseca de la materia, es una función de estado, está determinada en un sistema cuya energía interna, presión y volumen, son U, P y V se define como:

$$H = U + PV \quad \text{Ecuación 2}$$

De igual forma que la energía interna se realizan mediciones de las variaciones que presente el sistema de la entalpía. (Levine, I. 2004)

- d. **Entropía:** Es una función de estado, la energía que se pierde o gana, al realizar un trabajo sobre un sistema, dicha energía es absorbida o obtenida a partir de los alrededores. El cambio de entropía del universo siempre aumenta, al realizar un proceso. En otras palabras la entropía es una medida del desorden del universo. (Levine, I. 2004)

- e. **Energía libre de Gibbs:** Es una función de estado, determinada para un sistema cuya entalpía, temperatura y entropía son H, T y S, se define como:

$$G = H - TS \quad \text{Ecuación 3}$$

La energía libre de Gibbs disminuye durante la aproximación al equilibrio a T y P constantes, alcanza su valor mínimo en el equilibrio. Posee dimensionales de energía, ésta no se debe mantener constante a lo largo de un proceso. (Levine, I. 2004).

f. **Potencial químico:** Es una función de estado que representa el cambio de energía libre de Gibbs que se produce si se realiza un cambio en la cantidad de uno de los compuestos presentes en la mezcla mientras permanecen constante la temperatura, la presión y los moles de las otras sustancias:

$$\mu_i = \left( \frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_{j \neq i}}$$

Ecuación 4

En el equilibrio de fases, a una temperatura y presión dada, se va a dar cuando el potencial químico de cada una de las especies en todas las fases sean iguales. Es decir: (Levine, I. 2004)

$$\mu_i^\alpha = \mu_i^\beta = \dots = \mu_i^\Pi$$

Ecuación 5

Los potenciales químicos son las propiedades termodinámicas fundamentales, puesto el resto de propiedades pueden reducirse a partir de los mismos.

g. **Mezcla de fases:** Consiste en una mezcla multicomponentes, en la cual se pueden encontrar más de dos fases, estas mezclas poseen pseudo-propiedades las cuales son la fracción molar por la propiedad de dicha sustancia en estado pura. Todas las fases se pueden estudiar si se poseen los datos suficientes, la regla de fase, permite determinar si se poseen lo suficientes datos de la mezcla para estimar el resto de valores, los cuales son conocido como grados de libertad, la regla de fase toma en cuenta en la cantidad de compuesto, la cantidad de fases, la presión y la temperatura. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

h. **Equilibrio Vapor/Líquido, EVL:** Es una condición estática donde, con el tiempo, no ocurre cambio en las propiedades macroscópicas de un sistema, lo cual implica un balance de todos los potenciales que pueden ocasionar un cambio. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

i. **Ley de Raoult:** Es la relación más empírica entre la fase gaseosa y la fase líquida, una condición estática donde, con el tiempo, no ocurre cambio en las propiedades macroscópicas de un sistema, lo cual implica un balance de todos los potenciales que pueden ocasionar un cambio. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

2. **Fugacidad:** Debido a la dificultad para determinar el potencial químico de una sustancia, se introdujo a la fugacidad, que presenta las características principales del potencial químico pero no muestra sus características indeseables. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

Aquí radica su importancia para el equilibrio de fase, puesto un sistema estará en equilibrio a una misma T y P, cuando las fugacidad de cada especie componente es igual en todas las fases.

a. **Coefficiente de fugacidad:** Es la relación adimensional entre la fugacidad y la presión, generando así una propiedad nueva, la cual está determinada para un mezcla por la siguiente función: (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

$$\Phi_i = \frac{f_i}{y_i P} \quad \text{Ecuación 6}$$

El valor de coeficiente de fugacidad se estima por medio del método de correlaciones generalizadas. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

### 3. Coeficiente de Activación:

a. **Definición:** Miden el grado de divergencia del comportamiento de la sustancia i con respecto al comportamiento ideal o diluido ideal. (Levine, I. 2004).

b. **Modelos de Composición Global:**

1) **Ley de Rault:** Los valores de coeficiente de activación son 1, debido que se asume que es una mezcla ideal. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

2) **Ecuación de Margules:** Grado de divergencia del comportamiento de la sustancia i con respecto al comportamiento ideal o diluido ideal. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

3) **La Expansión de Redlich/Kister:** Grado de divergencia del comportamiento de la sustancia i con respecto al comportamiento ideal o diluido ideal. (Smith, J; Van Ness,

Abbott, J., 2007)

c. **Modelos de Composición Local:** Se supone explican el orden de corto alcance y de las orientaciones moleculares no aleatorias que sepultan de las diferencias en el tamaño molecular y de las fuerzas intermoleculares. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

1) **Ecuación de Wilson:** Contiene sólo dos parámetros para un sistema binario  $\Lambda_{12}$  y  $\Lambda_{21}$  y se escribe como: (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

$$\frac{G^E}{RT} = -x_1 \ln \left( \frac{x_1 + x_2 \Lambda_{12}}{x_1 + x_2} \right) - x_2 \ln \left( \frac{x_2 + x_1 \Lambda_{21}}{x_2 + x_1} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\ln \left( \frac{x_1 + x_2 \Lambda_{12}}{x_1 + x_2} \right) = -\ln \left( \frac{x_1 + x_2 \Lambda_{12}}{x_1 + x_2} \right) + x_2 \left( \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + x_2 \Lambda_{12}} - \frac{\Lambda_{21}}{x_2 + x_1 \Lambda_{21}} \right) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\ln \left( \frac{x_2 + x_1 \Lambda_{21}}{x_2 + x_1} \right) = -\ln \left( \frac{x_2 + x_1 \Lambda_{21}}{x_2 + x_1} \right) - x_1 \left( \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + x_2 \Lambda_{12}} - \frac{\Lambda_{21}}{x_2 + x_1 \Lambda_{21}} \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

$\Lambda_{12}$  y  $\Lambda_{21}$  son siempre números positivos.

2) **Ecuación de NRTL (Non-Random-Two-Liquid):** Incluye tres parámetros para los sistemas binario y se escribe como: (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

$$\frac{G^E}{x_1 x_2 RT} = \frac{G_{21} \tau_{21}}{x_1 + x_2 G_{21}} + \frac{G_{12} \tau_{12}}{x_2 + x_1 G_{12}} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\ln \phi_1 = x_2^2 \left( \tau_{21} \left( \frac{G_{21}}{x_1 + x_2 G_{21}} \right)^2 + \frac{G_{12} \tau_{12}}{x_2 + x_1 G_{12}} \right) \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\ln \phi_2 = x_1^2 \left( \tau_{12} \left( \frac{G_{12}}{x_2 + x_1 G_{12}} \right)^2 + \frac{G_{21} \tau_{21}}{x_1 + x_2 G_{21}} \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

$$G_{12} = \exp \left( -\frac{\alpha \tau_{12}}{RT} \right), \quad G_{21} = \exp \left( -\frac{\alpha \tau_{21}}{RT} \right), \quad \tau_{12} = \frac{b_{12}}{RT} \quad \text{y} \quad \tau_{21} = \frac{b_{21}}{RT}$$

$\alpha, b_{12}$  y  $b_{21}$  son parámetros específicos para un par de especies en particular, son independientes de la composición y la temperatura. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

3) Ecuación UNIFAC: Son modelo de mayor complejidad, debido a que toman en cuenta la composición de la molécula y las interacciones entre los grupos funcionales de la misma. En la Tabla 1. se presenta los valores de los Parámetros de los subgrupos para el equilibrio vapor líquido. En la Tabla 2 se establecen los parámetros de interacción ( $a_{mk}$ ) entre los grupos funcionales para el método UNIFAC. En ambas tablas se reduce a la información necesaria para los grupos funcionales que se encuentran en la mezcla de etanol-agua.  $v_k$  es la cantidad de grupos funcionales presente en la molécula analizada. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007).

Tabla 1: Parámetros del subgrupo de EVL-UVIFAC.

Grupo funcional	Subgrupo	K	R <sub>k</sub>	Q <sub>k</sub>
1. "CH <sub>2</sub> "	CH <sub>3</sub>	1	0.9011	0.848
	CH <sub>2</sub>	2	0.6744	0.540
5. "OH"	OH	15	1.000	1.200
7. "H <sub>2</sub> O"	H <sub>2</sub> O	17	0.9200	1.400

[Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007]

Tabla 2: Parámetros de interacción de los grupos de EVL-UVIFAC. ( $a_{mk}$  en Kelvin)

Grupo funcional	1. "CH <sub>2</sub> "	5 "OH"	7 "H <sub>2</sub> O"
1. "CH <sub>2</sub> "	0.00	986.50	1,318.00
5. "OH"	156.40	0.00	353.50
7. "H <sub>2</sub> O"	300.00	-229.10	0.00

[Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007]

Se procede a realizar los siguientes cálculos.

$$r_i = \sum_k v_k^{(i)} R_k \quad \text{Ecuación 13}$$

$$q_i = \sum_k v_k^{(i)} Q_k \quad \text{Ecuación 14}$$

$$e_{ki} = \frac{v_k^{(i)} Q_k}{q_i} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\tau_{mk} \exp\left(\frac{-a_{mk}}{T}\right) \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\beta_{ik} = \sum_m e_{mi} \tau_{mk} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\theta_k = \frac{\sum_i x_i q_i e_{ki}}{\sum_i x_i q_i} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$s_k = \sum_m \theta_m \tau_{mk} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$J_i = \frac{r_i}{\sum_j x_j r_j} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$L_i = \frac{q_i}{\sum_j x_j q_j} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$\ln \gamma_i^C = 1 - J_i + \ln J_i - 5q_i \left(1 - \frac{J_i}{L_i} + \ln \frac{J_i}{L_i}\right) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\ln \gamma_i^R = q_i \left(1 - \sum_k \left(\theta_k \frac{\beta_{ik}}{s_k} - e_{ki} \ln \frac{\beta_{ik}}{s_k}\right)\right) \quad \text{Ecuación 23}$$

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R \quad \text{Ecuación 24}$$

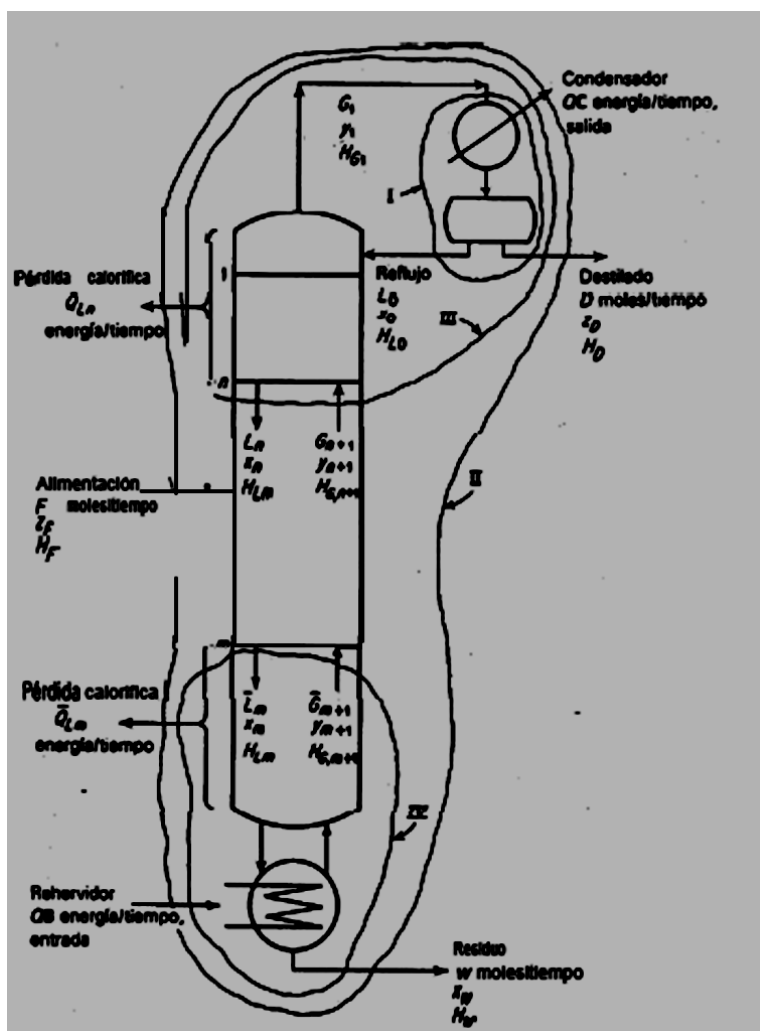
Los subíndices k identifica a los subgrupos, i identifica la especie, m y j es un subíndice ficticio que recorre todos los subgrupos y las especie, respectivamente. (Smith, J; Van Ness, C; Abbott, J., 2007)

#### 4. Torre de Destilación:

- a. **Funcionamiento y Diagrama:** La torre de destilación consiste en que tres partes principales: la columna de destilación, condensador y el calderín. La columna de destilación está conformada

de una serie de platos apilados y en la parte inferior posee un calderín, en el que se calienta la mezcla líquida, con la cual se genera un vapor, dicho vapor sube a lo largo de la columna de destilación. En cada plato se realiza la condensación de uno de los componentes menos volátiles de la mezcla del vapor, además se produce la evaporación del condensado presente en dicho plato, con lo cual el vapor se enriquece del compuesto menos volátil, el líquido fluye hacia abajo, donde se encuentra el calderín, mientras el vapor fluye hacia arriba de la torre de destilación hacia el condensador, en donde se obtiene el componente menos volátil en mayor concentración, luego se procede a recircular una porción del condensado de nuevo a la columna de destilación, esta se puede introducir a el primer plato o puede alimentar a un plato específico según la concentración que se desee obtener en el producto final. (Treybal, R., 1988)

Figura 2. Diagrama de la torre de destilación



[Treybal, R., 1988]

b. Balance de masa:

1) Balance de masa general:

$$F = D + W \quad \text{Ecuación 25}$$

$$F x_F = D x_D + W x_W \quad \text{Ecuación 26}$$

2) Balance de masa en el condensador

$$G_1 = D + L_0 \quad \text{Ecuación 27}$$

$$G_1 y_1 = D x_D + L_0 x_0 \quad \text{Ecuación 28}$$

3) Balance de masa en el calderín

$$L_m = W + G_{m+1} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$L_m x_m = W x_W + G_{m+1} y_{m+1} \quad \text{Ecuación 30}$$

c. Balance de energía:

1) Balance de energía general:

$$F H_F + Q_B = D H_D + W H_W + Q_C \quad \text{Ecuación 31}$$

2) Balance de energía en el condensador

$$G_1 H_{g,1} = D H_D + L_0 H_0 + Q_C \quad \text{Ecuación 32}$$

3) Balance de energía en el calderín

$$L_m H_{L,m} + Q_B = W H_W + G_{m+1} H_{g,m+1} \quad \text{Ecuación 33}$$

Los valores de las entalpías son estimados con respecto a un valor de referencia que usualmente se encuentra a una temperatura de 0°C y una presión de un bar.

## 5. Destilación Continua:

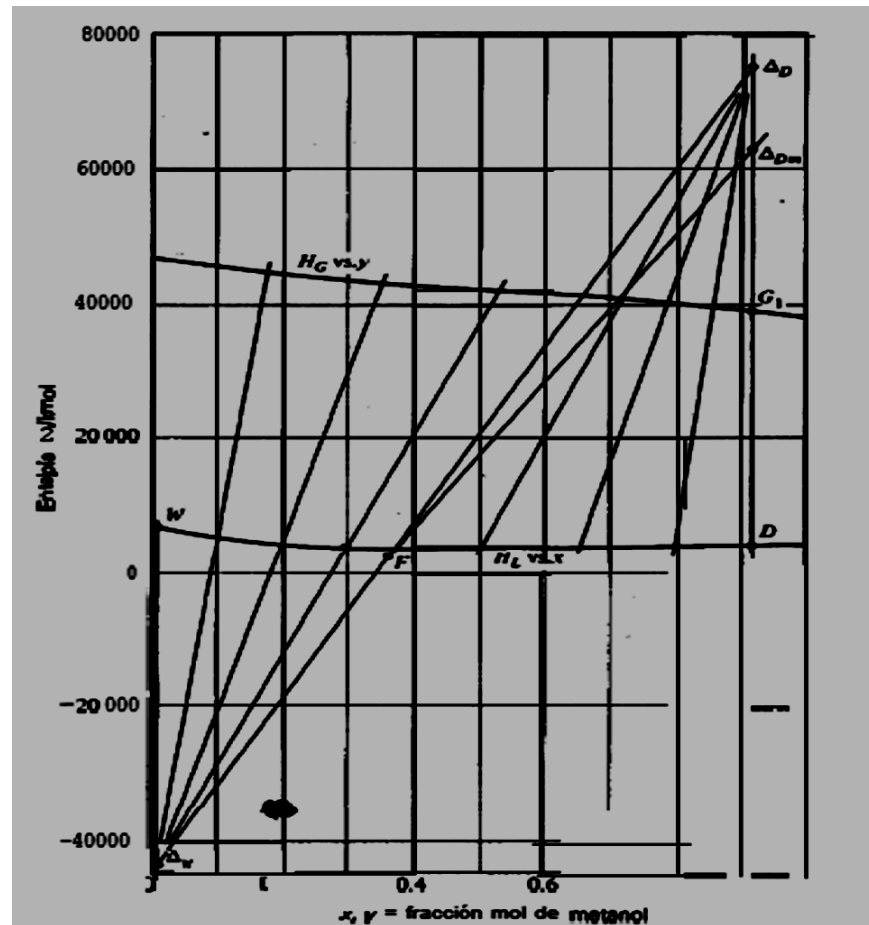
a. Método de Ponchon-Savarit: Este método se desarrolla inicialmente para el caso en que

se tengan pérdidas despreciables de calor. A continuación se enumeran los pasos a seguir para efectuar dicho método, según Treybal, R., 1988:

1.) Realizar el balance de masa: Se determina cuáles son los flujos molares de entrada y salida del sistema, con el cual se va a trabajar, es importante determinar a su vez la relación de reflujo.

2.) Diagrama de entalpía en función de la concentración: Construir un gráfico de la entalpía en función de la concentración, para lo cual se determinarán las entalpías de la mezcla líquida a diferentes concentraciones de la fracción  $x$ , a su vez se realizará el cálculo de la entalpía de la mezcla líquida en función de la concentración. Se realizan dichas curvas en un mismo gráfico, el cual se observará como la Figura 3.

Figura 3. Ejemplo Diagrama de Entalpía en función de la concentración



[Treybal, R., 1988]

3.) Curva de operación del enriquecimiento: En este método se utiliza el balance de energía del condensador, con el objetivo de determinar el calor neto eliminado del condensador y del destilado eliminado permanentemente, siendo la siguiente:

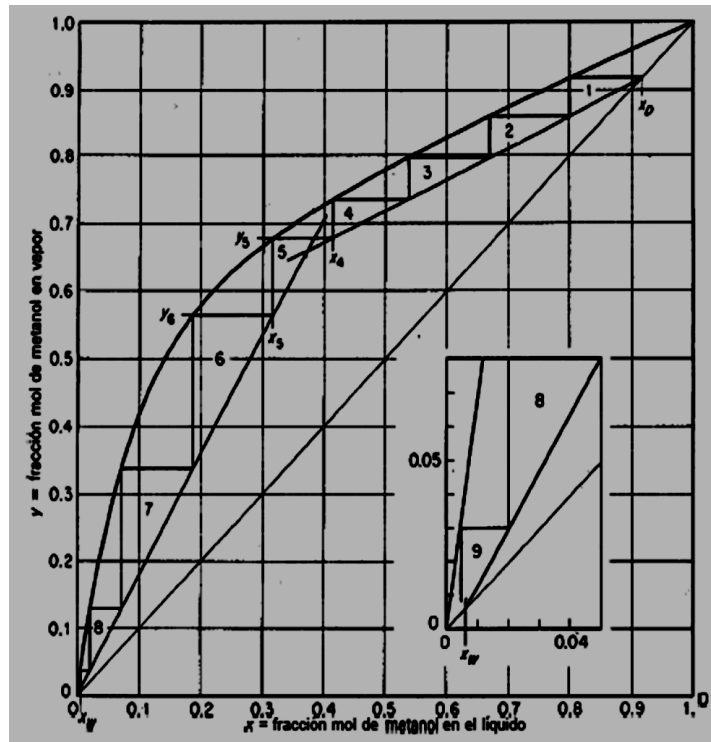
$$Q' = \frac{Q_c}{D} + H_D \quad \text{Ecuación 34}$$

Se procede a calcular el punto ficticio  $\Delta_D$ , el cual posee coordenadas,  $(\Delta_D, Q')$ , el cual es colocado en la Figura 3. Desde dicho punto se realiza una línea vertical con lo cual se determina los valores de concentraciones iniciales del destilado en su fase gaseosa y líquida, brindando el punto  $(x_D, y_D)$ , el cual es el primer valor que se utilizará para realizar el cálculo. El punto  $(x_D, y_D)$  se gráfica en la Figura 4 y se realiza una línea horizontal hasta interceptar la curva de equilibrio donde se obtiene el valor  $x_1$ , con el cual

se determina en la Figura 3, el valor de la entalpía líquida para dicha fracción luego se realiza una línea con el punto  $\Delta_D$ , el punto donde dicha línea interfecta la función  $H_G(y)$ , se determina el valor de  $y_1$ , que a vez debe ser graficado en la Figura 4.

Este procedimiento se repite indefinidamente hasta alcanzar la concentración de alimentación.

Figura 4. Grafico del Diagrama xy



[Treybal, R., 1988].

4.) Curva de operación del agotamiento: En este método se utiliza el balance de energía del calderín, con el objetivo de determinar el calor neto eliminado del calderín y de la cola eliminada permanentemente, siendo la siguiente:

$$Q'' = H_w - \frac{Q_b}{W} \quad \text{Ecuación 35}$$

Se procede a calcular el punto ficticio  $\Delta_w$ , el cual posee coordenadas,  $(x_w, Q'')$ , el cual es colocado en la Figura 3 se prosigue determinando el valor del último punto de la curva de operación de enriquecimiento,  $x_m$ , con el cual se determina en la Figura 4, el valor de la entalpía líquida para dicha fracción luego se realiza una línea con el punto  $\Delta_w$ , el punto donde dicha línea interfecta la función  $H_G(y)$ , se determina el valor de  $y_m$ , esto se realiza en la Figura 3. Dichas coordenadas deben ser graficada en la Figura 4. Este procedimiento se repite indefinidamente hasta alcanzar la concentración de la cola.

5.) Plato alimentación: Se determina por la en la intersección de las curvas de alimentación, puesto estas toman en cuenta los valores de los balances de masa y

energía.

6.) Reflujo total: Se utiliza la función  $y = x$ , como línea de operación, con lo cual se obtiene la cantidad mínima de platos que se pueden obtener. Esto es debido a que el punto  $\Delta_D$  es un valor al infinito con lo cual todas las líneas de la Figura 3 son verticales dando la misma concentración para la fase gaseosa y líquida.

7.) Relación mínima de reflujo: Coincide con la carga térmica mínima del calderín y de enfriamiento del condensador para la separación. Para lo en la Figura 3. se deben de dibujar las líneas de unión que son determinadas por los valores de equilibrio de la Figura 4. Luego se busca la línea de equilibrio que pasa por la entalpía de la alimentación, con lo cual se pueden determinar los puntos,  $\Delta_D$  y  $\Delta_w$ , con esto se determina el valor de  $Q'$  mínimo, por medio de la ecuación siguiente:

$$R_m = \frac{Q'_m - H_{G,1}}{H_{G,1} - H_{L,0}} \quad \text{Ecuación 36}$$

8.) Relación óptima de reflujo: Cualquier relación de reflujo entre el mínimo y el infinito proporciona la separación deseada; la diferencia radica en la cantidad de platos necesarios la cual puede variar desde infinito hasta el número mínimo de platos. Por lo cual se propone la utilización de  $N/(N+1)$  en función de  $R/(R+1)$ , con lo se evitan las asíntotas además de permitir graficar los puntos finales de la curva con facilidad.

6. Entalpía de Dilución: La entalpía de Dilución es el calor liberado o absorbido por una mezcla de dos compuestos, las mezclas a estudiar son metanol-agua y etanol-agua, por lo cual se buscaron valores teóricos, estos son medidos a temperaturas de referencia, en la Tabla 3 se presentan los valores para la mezcla de etanol-agua, cabe resaltar que la concentración está dada en porcentaje molar de agua, y la entalpía como energía por mol de etanol, los valores de la entalpía de disolución se dan en tres temperaturas de referencia, a 0°C, a 17.37°C a 42.05°C.

Tabla 3 Entalpía de Disolución de la mezcla etanol-agua, a diferentes temperaturas de referencia.

Concentración (%)	Entalpía de Disolución, $\frac{KJ}{mol C_2H_6}$		
	To = 0° C	To = 17.37 C	To = 42.05° C
5.00	0.088	0.042	0.0029
10.00	0.176	0.092	0.0063
15.00	0.289	0.167	0.013
20.00	0.410	0.251	0.023
25.00	0.498	0.335	0.042
30.00	0.590	0.423	0.075
35.00	0.691	0.519	0.109

Continuación Tabla 3

Concentración (%)	Entalpía de Disolución, $\frac{KJ}{molC_2H_6}$		
	To = 0° C	To = 17.37 C	To = 42.05° C
40.00	0.824	0.636	0.167
45.00	1.004	0.757	0.243
50.00	1.251	0.946	0.343
55.00	1.523	1.201	0.465
60.00	1.900	1.507	0.649
65.00	2.385	1.925	0.87
70.00	3.038	2.478	1.209
75.00	3.972	3.218	1.691
80.00	5.428	4.269	2.356
85.00	7.407	75.821	3.281
90.00	9.856	7.801	4.528
95.00	12.540	9.818	6.236

[Washburn, E.W., 2003]

7. Índice de refracción: Se presentan datos a continuación la relación de índice de refracción en función de la concentración y la temperatura.

Tabla 4. Entalpía de Disolución de la mezcla etanol-agua, a diferentes temperaturas de referencia.

% etanol	Índice de refracción	Rango de temperatura °C
0	1.333	97.784 100.00
10	1.336	95.502 96.098
20	1.343	93.274 93.009
30	1.348	91.098 90.197
40	1.354	88.972 87.662
50	1.355	86.896 85.406
60	1.358	84.868 83.427
70	1.361	82.888 81.727
80	1.3635	80.954 80.303
90	1.3634	79.065 79.158

[Washburn, E.W., 2003]

## B. Marco teórico electrónica

1. Automatización: La Automatización se compone de todas las teorías y tecnologías

encaminadas de alguna forma a sustituir el trabajo del hombre por el de la máquina.

Conceptualmente, la automatización se basa en una reiterada aplicación del mecanismo de “feedback” (retroalimentación) y, por ello, está en ese sentido relacionada con las Teorías de Control y de Sistemas. En cuanto a su aspecto tecnológico, puede decirse que siempre ha estado “a la última”, adoptando en cada momento histórico los más recientes avances.

- 2. Válvulas eléctricas:** Las que se presentaron como opción para colocar en la torre son de dos tipos: las válvulas proporcionales (conocidas en la industria como válvulas de control) que permiten tener una apertura en una posición deseada, y las válvulas solenoides (abierto o cerrado).
- a. Válvulas proporcionales: Este tipo de válvulas regula la presión y el caudal a través de un conducto por medio de una señal eléctrica, que puede ser de corriente o de voltaje. Su principal aplicación es el control de posición y de fuerza, ya que los movimientos son proporcionales y de precisión, lo que permite un manejo más exacto del paso de fluidos.
  - b. Válvulas solenoides: Las válvulas de solenoide permiten un control encendido-apagado (on/off) mediante variaciones de corriente eléctrica en su bobina. Este tipo de válvulas es controlada variando la corriente que circula a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina). Esta corriente, al circular por el solenoide, genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil. Por lo general estas válvulas operan de forma completamente abierta o completamente cerrada, aunque existen aplicaciones en las que se controla el flujo en forma lineal. Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar.

Para escoger la válvula indicada según la aplicación se recomienda tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Material del cuerpo de la válvula: para nuestro caso y debido al tipo de fluido que pasará en las válvulas (alcohol) se utilizarán válvulas de acero inoxidable.
- Materiales sellantes: por el tipo de fluido (alcoholes) que estará pasando por las tuberías de la torre de destilación se prefiere utilizar como material sellante el PTFE, EPDM, NBR, KALREZ.
- Rango de presión con el que se va a trabajar (varía según ubicación).
- Rango de temperatura con el que se va a trabajar (varía según ubicación).
- Tipo y tamaño de conexiones con la tubería
- Características eléctricas de la válvula: se trabajará con válvulas de 24 V corriente directa.
- Comportamiento de la válvula (normalmente abierta o normalmente cerrada)

**3. Termopares:** Un termopar es un dispositivo para la medición de temperatura, basado en efectos termoeléctricos. Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura, que origina una fuerza electromotriz (efecto Seebeck).

La fuerza electromotriz generada por el termopar está en función de la diferencia de temperatura entre la unión fría y caliente (punto donde se está tomando la medición), pero más específicamente, ésta es

generada como un resultado de los gradientes de temperatura, los cuales existen a lo largo de la longitud de los conductores.

La magnitud de la FEM depende de los materiales de los conductores utilizados por el termopar y de sus condiciones metalúrgicas. Con el tiempo y el uso, la degradación del termopar es inevitable. Si por razones prácticas la longitud de los termopares se incrementa, ésta será hecha considerando el cable de extensión hecho del mismo material de los conductores del termopar.

Los diferentes tipos de termopares se tabulan en la Tabla 5.

Tabla 5. Tipos de termopares

Tipo	Alcance Temperatura °C	Materiales y Aleaciones (+) Vs. (-)
<b>Metal - Base</b>		
E	-270 a 1 000	níquel - cromo Vs. cobre - níquel
J	-210 a 1 200	hierro Vs. cobre - níquel
T	-270 a 400	cobre Vs. cobre - níquel
K	-270 a 1 372	níquel - cromo Vs. níquel - aluminio
N	-270 a 1 300	níquel - cromo - silicio Vs. níquel - silicio - magnesio
<b>Metal - Noble</b>		
R	-50 a 1 768	platino - 13 % rodio Vs. platino
S	-50 a 1 768	platino - 10 % rodio Vs. platino
B	0 a 1 820	platino - 30 % rodio Vs. platino - 6 % rodio

Para las extensiones de cada termopar, existe un código de colores que debe ser respetado. Este código de colores en los aislantes de cada termopar sirve para indicar el tipo (composición) y la polaridad. Figura 5. Código de colores de los termopares.

#### 4. Instrumentación intrínsecamente segura (IS): Este tema se investigó debido a la

problemática que se vio al analizar los estados de la columna de destilación. Al instalar equipo electrónico en la torre de destilación existe un rango de riesgo, ya que por la torre circulan fluidos inflamables.

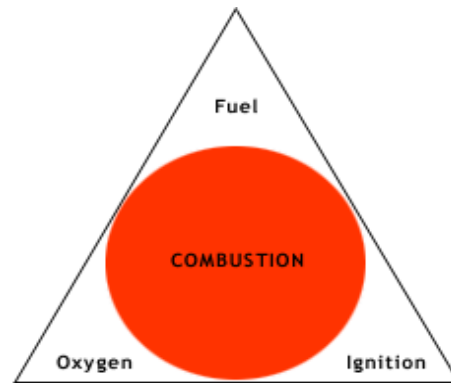
Para que se lleve a cabo el proceso de combustión, y por ende ocurra una explosión son necesarias tres partes, las cuales son detalladas a continuación y en la Figura 6.

- El combustible: en nuestro caso sería la sustancia inflamable (alcohol que está siendo destilado).
- Oxígeno: se asume como existente dentro de nuestro sistema.
- Fuente de energía: en nuestro caso sería debido a un chispazo.

Figura 5. Código de colores de los termopares.

Código ANSI	Combinación de la aleación		Código de color	
	+	-	Termopar	Extensión
E	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
J	hierro Fe	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
T	cobre Cu	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
K	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Alumel níquel - aluminio Ni-Al		
N	Nicrosil níquel - cromo - silicio Ni-Cr-Si	Nisil níquel - silicio - magnesio Ni-Si-Mg		
R	platino - 13% rodio Pt-13% Rh	platino Pt	No establecido	
S	platino - 10% rodio Pt-10% Rh	platino Pt	No establecido	
B	platino - 30% rodio Pt-30% Rh	platino - 6% rodio Pt-6% Rh	No establecido	

Figura 6. Triángulo de ignición (partes para que se dé una explosión)



Para evitar este tipo de problemas existe una teoría llamada Seguridad Intrínseca o por su nombre en inglés “Intrinsic Safety” (IS). IS ataca la tercera parte, asumiendo existencia de las otras 2. Es decir, se garantiza que la energía no sea lo suficientemente grande para arrancar un incendio. La forma en que se mide que esta energía no sea lo suficientemente grande como para iniciar un incendio es basándose en las propiedades de la sustancia. Existe una temperatura mínima a la cual las sustancias inflamables se “auto incendian” (autoignition temperature).

Tabla 6: Tabla de temperaturas mínimas para una auto explosión

Hazardous Mixture	Autoignition Temperature	
	°C	°F
Acetone	540	1004
Acetylene	305	581
Ammonia	630	1166
Benzene	220	428
Benzol	555	1031
Butane	365	689
Butylalcohol	340	644
Carbon Disulphide	95	203
Carbon Oxide	605	1121
Cyclohexane	430	806
Diesel Fuel	220 to 300	428 to 572
Ethane	515	959
Ethylacetate	460	860
Ethylalcohol	425	797
Ethylchloride	510	950
Ethylene	425	797
Ethylether	180	356
Ethyl Glycol	235	455
Fuel Oil	220 to 300	428 to 572
Hexane	240	464
Hydrogen aerioxide	560	1040
Hydrogen disulphide	270	518
Methane	595	1103
Methanol	455	851
Methyl chloride	625	1157
Naphthalene	520	968
Phenol	595	1103
Propane	470	878
Tetraline	425	797
Toluol	535	995

IS es una técnica de protección para la operación segura de equipo electrónico presente en atmósferas explosivas. La IS asegura que sólo entren voltajes bajos al “área peligrosa” y que los

conductores estén protegidos con barreras de seguridad Zener. Existen diversidad de circuitos electrónicos que se usan como barrera pero el concepto básico de IS es el mismo: diseñar circuito barrera IS utilizando resistores para limitar corriente, diodos Zener para limitar voltaje y un fusible.

Figura 7. Partes básicas de IS

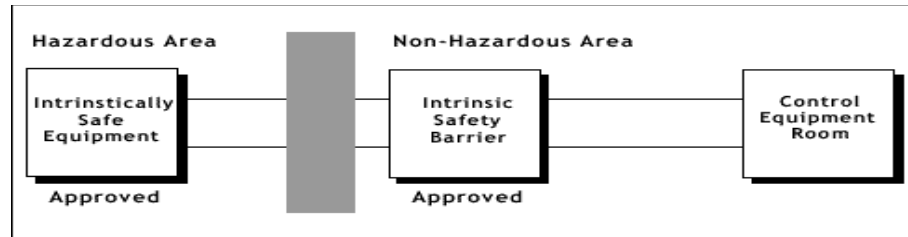
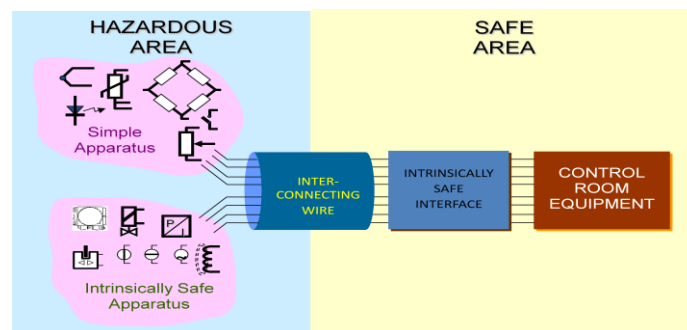


Figura 8. Partes de IS aplicado a nuestro equipo



Este submódulo tiene conceptos específicos que se tratarán a continuación, esta investigación presenta una introducción a cada uno de los equipos utilizados en el proyecto.

**5. Métodos de medición de flujo:** Existen tres métodos para medir el volumen que pasa a través de un área transversal: volumétrico, inferencial y electrónico. A continuación se muestran los tamaños, material del cual están hechos, aplicación y funcionamiento de los equipos que trabajan con cada uno de los métodos antes mencionados:

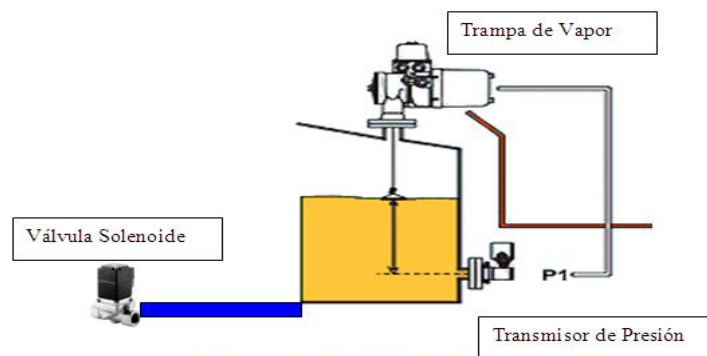
- Volumétrico (desplazamiento positivo)
  - Tamaños existentes: 1/2-, 3/4- y 1 pulgadas
  - Materiales: Acetal copolimero modificado (plástico).
  - Aplicación: Lectura directa del total de galones, pies cúbicos o metros cúbicos que han pasado a través del medidor.
  - Funcionamiento: Pistón oscilador, cada revolución del pistón es una medida conocida del volumen de agua que ha pasado.

- Inferencial (turbina)
  - Tamaños existentes: 1 1/2 a 12 pulgadas.
  - Materiales: bronce o hierro fundido. Puede ser fabricado en materiales anti-corrosivos.
  - Aplicación: Medición de grandes volúmenes de agua. Salidas de calderas. Gran aplicación industrial.
  - Funcionamiento: Estilo turbina, el flujo de agua hace girar proporcionalmente una hélice.
- Electrónico (medición magnética)
  - Tamaños existentes: De 1/2 a 24 pulgadas
  - Aplicación: Al no tener partes móviles tiene aplicación universal. 0.25% de exactitud en AC, y 0.5% con batería (DC).
  - Funcionamiento. Ley de Faraday. Inducción magnética. Un conductor (el agua) moviéndose a través de una campo magnético (producido por el medidor) inducirá una corriente proporcional a la velocidad del conductor (el agua).

6. Medición de volumen de un tanque: Para medir el flujo de vapor que cae de la trampa de vapor podría utilizarse dos de las anteriores opciones, ya sea el método volumétrico o el electrónico. Sin embargo se tiene una gran limitante y es que el flujo del condensado de vapor no es constante, fluctúa entre gotas (mililitros por minuto) y litros por minuto.

Por ello se estudió otro método que podría el presentado en la Figura No.9

Figura 9. Modelo para medición de nivel de tanque mediante presión.



El medidor de presión diferencial consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico. Es decir: en la que:

$P$  = Presión

$H$  = altura de líquido sobre el instrumento

$\gamma$  = densidad del líquido

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

El diafragma forma parte de un transmisor neumático, electrónico o digital de presión diferencial semejante a los transmisores de caudal de diafragma. Hay que señalar que el nivel cero del líquido se selecciona en un eje a la altura del diafragma.

La precisión de los instrumentos de presión diferencial es de  $\pm 0,5 \%$  en los neumáticos,  $\pm 0,2 \%$  a  $\pm 0,3 \%$  en los electrónicos, y de  $\pm 0,15 \%$  en los <inteligentes> con señal de salida de 4 – 20 mA c.c. y de  $\pm 0,1 \%$  en los que se emplean en tanques abiertos y cerrados a presión y a vacío, no tienen partes móviles dentro del tanque, son de fácil limpieza, son precisos y confiables, admiten temperaturas del fluido hasta  $120^\circ \text{C}$  y no son influidos por las fluctuaciones de presión.

Hay que señalar que el material del diafragma debe ser el adecuado para resistir la corrosión del fluido (existen materiales de acero inoxidable 316, monel, tantalio, hastelloy B, inoxidable recubierto de teflón).

7. **Coefficiente de descarga:** Existen pérdidas de energía debido a la forma del orificio de escape en el fondo del tanque de la Figura 9. y la forma en que el líquido cambia de área de paso.

El coeficiente de descarga se define como:

$$\text{_____} \quad \text{Ecuación 37}$$

El coeficiente de contracción de la abertura está dado por:

$$\text{_____} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde la vena contracta es el área transversal donde efectivamente cruzan todas las partículas del líquido, tomando en cuenta la contracción que este implica. Para agujeros agudos se utiliza un  $C_c = 0.64$  y para agujeros redondeados es de  $0.97$ .

El coeficiente de velocidad se define como:

$$\text{_____} \quad \text{Ecuación 39}$$

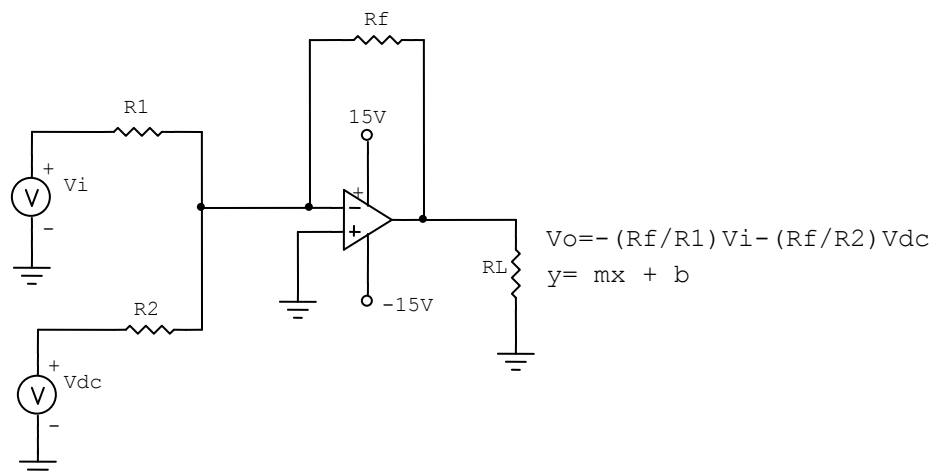
El  $C_v$  utilizado como estándar es  $0.97$  para agua. Entonces la descarga real está dada por:

$$\text{Descarga Real} \quad \text{_____} \quad \text{Ecuación 40}$$

## 8. Circuitos con amplificadores operacionales

a. **Circuito acondicionador de señal:** El circuito acondicionador de señal se comporta como de acuerdo con la ecuación de una línea recta,  $y = mx + b$ . A continuación se muestra un circuito acondicionador de señal.

Figura 10. Circuito acondicionador de señal.



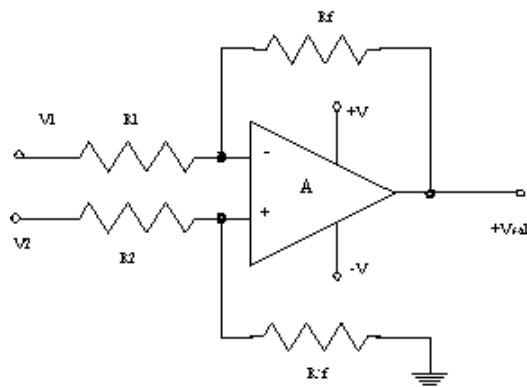
$$V_o = -(R_f/R_1) V_i - (R_f/R_2) V_{dc} \quad \text{Ecuación 41}$$

Si se compara la ecuación  $y = mx + b$ , con el circuito de la figura anterior, se encuentra que y corresponde al voltaje de salida  $V_o$ , x es el voltaje de la señal de entrada  $V_i$ , m corresponde a la ganancia del circuito  $-\frac{R_f}{R_1}$ , y b es  $-\frac{R_f}{R_2}$  veces  $V_{dc}$ .

Por lo tanto, si en la aplicación que interesa se utiliza un sensor que produce una señal de entrada, medida respecto a la tierra, y que hay que amplificar y desviar, entonces lo que se puede utilizar es un acondicionador de señal similar al de la figura anterior. Para diseñar un circuito acondicionador de señal es necesario obtener la ecuación del circuito. Esta ecuación se obtiene tomando en cuenta lo que se recibe, las condiciones de salida del sensor, y después transformando lo anterior en lo que se desea, es decir, las condiciones de entrada de un dispositivo digital como un A/D o un microcontrolador.

**b. Circuito amplificador diferencial:** El circuito amplificador diferencial amplifica la diferencia de potencial que se aplican sobre sus entradas, es decir, la diferencia en magnitud del potencial que se aplica sobre la entrada no inversora y la que se aplica sobre la inversora.

Figura 11. Amplificador diferencial, basado en un solo amplificador operacional.



Si se toman valores de resistencia iguales para las entradas de los voltajes, es decir:

$$R_1 = R_2 = R_i \quad \text{Ecuación 42}$$

Entonces el voltaje de salida del circuito de la Figura No.9 está dado por la expresión:

$$\text{—————} \quad \text{Ecuación 43}$$

Es decir, que la amplificación del circuito está dada por la relación entre  $R_f$  y  $R_i$ .

## 9. Protocolos de comunicación serial

a. **Trama de datos:** Es un paquete de información con estructura y tamaño determinado según el protocolo de comunicación que se utilice. Es una unidad de envío de datos. Viene a ser sinónimo de paquete de datos o paquete de red, aunque se aplica principalmente en los niveles OSI más bajos, especialmente en el nivel de enlace de datos. Normalmente una trama constará de cabecera, datos y cola. En la cola suele estar algún chequeo de errores. En la cabecera suele haber campos de control de protocolo.

b. **Velocidad de transmisión (baud rate):** Indica el número de bits por segundo que se transfieren, y se mide en baudios. Por ejemplo, 300 baudios representan 300 bits por segundo.

Cuando se hace referencia a los ciclos de reloj se está hablando de la velocidad de transmisión. Por ejemplo, si el protocolo hace una llamada a 4800 ciclos de reloj, entonces el reloj está corriendo a 4800 Hz, lo que significa que el puerto serial está muestreando las líneas de transmisión a 4800 Hz.

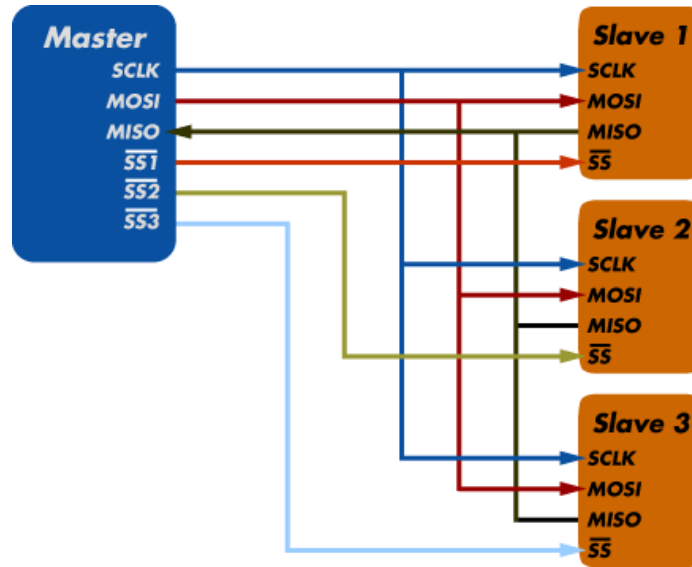
c. **Protocolo de comunicación serial síncrona SPI:** SPI es un bus de tres líneas, sobre el cual se transmiten paquetes de información de 8 bits. Cada una de estas tres líneas porta la información entre los diferentes dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo, por lo que este tipo de comunicación serial es en ambas vías o por su término en inglés: “full dúplex”. Dos de estas líneas transfieren los datos (una en cada dirección) y la tercer línea es la del reloj.

Los dispositivos conectados al bus son definidos como maestros y esclavos. Un maestro es aquel que inicia la transferencia de información sobre el bus y genera las señales de reloj y control.

Un esclavo es un dispositivo controlado por el maestro. Cada esclavo es controlado sobre el bus a través de una línea selectora llamada “Chip Select” o “Select Slave” (traducido como selector de esclavo), por lo tanto el esclavo es activado solo cuando esta línea es seleccionada. Generalmente una línea de selección es dedicada para cada esclavo.

Los datos son transferidos en bloques de 8 bits, en donde el bit más significativo (MSB) se transmite primero.

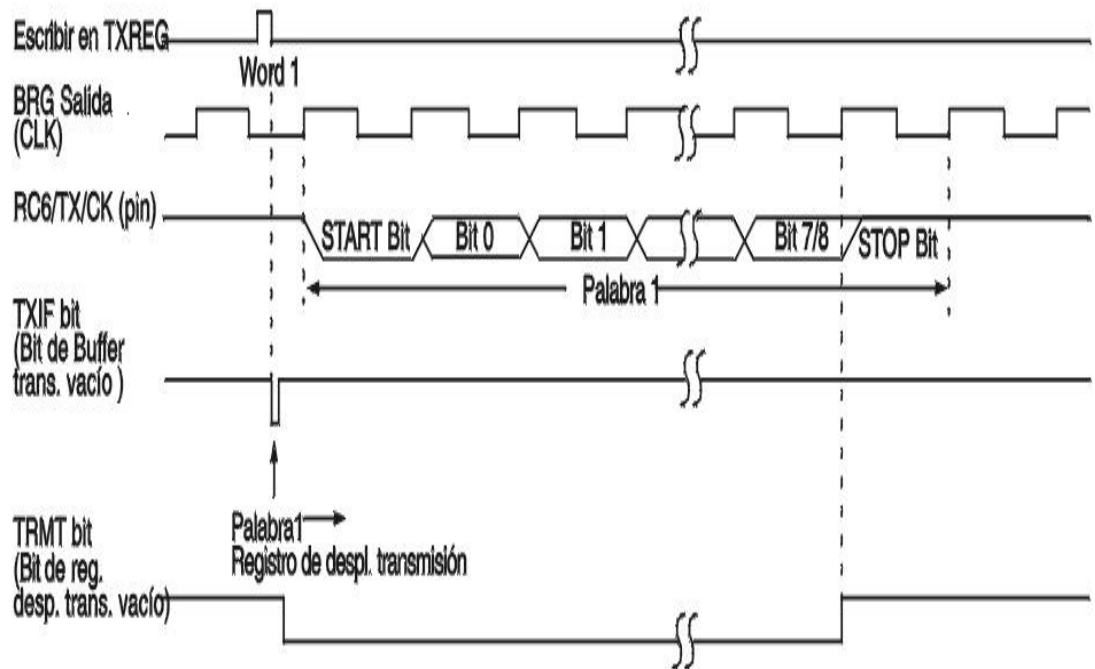
Figura 12. Diagrama de bloques del protocolo de comunicación SPI.



USART: El USART (Universal Synchronous Asynchronous receiver Transmitter) es uno de los dos puertos seriales de los que dispone los PIC16F87X. Puede funcionar de forma síncrona (half dúplex o sólo en un sentido) o asíncrona (full dúplex o en ambos sentidos al mismo tiempo). En el modo asíncrono utiliza dos líneas, una de recepción y otra de transmisión. Los datos enviados tienen el tamaño de un byte.

Esta forma de comunicar serie usa la norma RS-232 / RS-485. Los bits se transmiten a una frecuencia fija y normalizada.

Figura 13. Diagrama de tiempos de una transmisión asíncrona usando USART



## 10. Comprobación de redundancia cíclica (CRC):

Es un tipo de función que recibe un flujo de datos de cualquier longitud como entrada y devuelve un valor de longitud fija como salida. El término suele ser usado para designar tanto a la función como a su resultado. Pueden ser usadas como suma de verificación para detectar la alteración de datos durante su transmisión o almacenamiento. Las CRCs son populares porque su implementación en hardware binario es simple, son fáciles de analizar matemáticamente y son particularmente efectivas para detectar errores ocasionados por ruido en los canales de transmisión.

## 11. SPI (Serial Peripheral Interface):

SPI es un bus de tres líneas, sobre el cual se transmiten paquetes de información de 8 bits. Cada una de estas tres líneas porta la información entre los diferentes dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo, por lo que este tipo de comunicación serial es full duplex. Dos de estas líneas transfieren los datos (una en cada dirección) y la tercer línea es la del reloj. Algunos dispositivos solo pueden ser transmisores y otros solo receptores, generalmente un dispositivo que tramite datos también puede recibir.

Los dispositivos conectados al bus son definidos como maestros y esclavos. Un maestro es aquel que inicia la transferencia de información sobre el bus y genera las señales de reloj y control.

Un esclavo es un dispositivo controlado por el maestro. Cada esclavo es controlado sobre el bus a través de una línea selectora llamada Chip Select o Select Slave, por lo tanto es esclavo es activado solo cuando esta línea es seleccionada. Generalmente una línea de selección es dedicada para cada esclavo. Ver Figura 14.

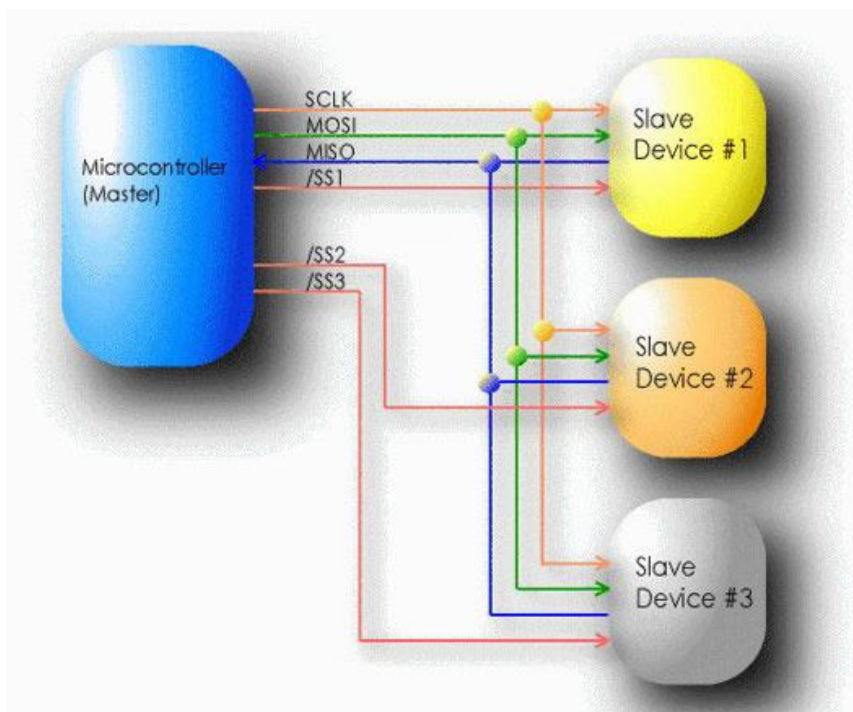
Cualquier dispositivo esclavo que no esté seleccionado, debe deshabilitarse (ponerlo en alta impedancia) a través de la línea selectora (chip select).

## 12. Especificaciones del Bus SPI:

Todas las líneas del bus transmiten la información sobre una sola dirección.

- La señal sobre la línea de reloj (SCLK) es generada por el maestro y sincroniza la transferencia de datos.
- La línea MOSI (Master Out Slave In) transporta los datos del maestro hacia el esclavo.
- La línea MISO (Master In Slave Out) transporta los datos del esclavo hacia el maestro.
- Cada esclavo es seleccionado por un nivel lógico bajo ('0') a través de la línea (CS = Chip Select o SS Slave Select).

Figura 14. Topología general del protocolo SPI.



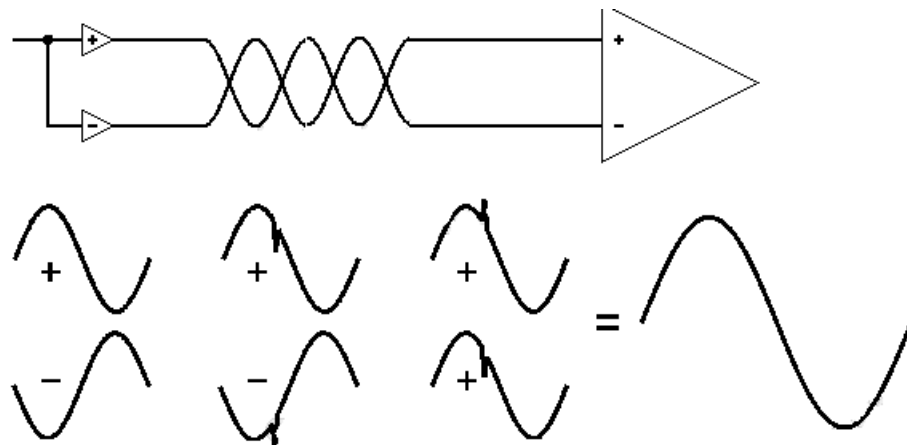
**13. Protocolos balanceados:** La base de los protocolos balanceados es que la señal se lleva dos veces, una de ellas con la polaridad invertida. A esto se lo conoce como el balanceado de una señal. Para llevar una señal balanceada necesitaremos conectores de tres pines y cable de tres conductores, uno de los cuales es la pantalla (malla) del cable. Las interferencias electro-magnéticas que no rechace el apantallamiento del cable, afectarán lo mismo a los dos cables que llevan la señal. La entrada del dispositivo al que llevamos la señal realiza lo que se conoce como desbalanceado, que consiste en sumar las dos señales que le llegan tras invertir una de ellas. Al haber estado invertida a su vez una señal con respecto de la otra en el cable, el balanceado consigue reforzar (doblar) la señal original y cancelar las interferencias que se produjeron en el cable.

En la práctica, la atenuación de las interferencias es muy compleja y no siempre se consiguen los resultados esperados, aunque en cualquier caso el transporte balanceado de señal es el preferible para aplicaciones profesionales. El parámetro CMRR (Common Mode Rejection Ratio, Relación de Rechazo en Modo Común) expresa la atenuación de una interferencia que se cuela en igual cantidad en los conductores que llevan la señal, y suele oscilar entre 60 y 80 dB, que vienen dados por las tolerancias del circuito de desbalanceado de entrada, y que definen la exactitud de la suma del desbalanceado.

En la Figura 15 se muestra la idea general de un sistema balanceado: el dispositivo de salida produce dos copias de la misma señal una de la cuales está invertida; si existe interferencia se produce de

igual manera en las dos señales que se transportan por el cable; en el dispositivo de destino las señales se invierten y se suman, cancelándose la interferencia.

Figura 15. Idea general de un sistema balanceado.



14. **Control:** El control automático de procesos se usa fundamentalmente porque reduce el costo de los procesos industriales, lo que compensa con creces la inversión en equipo de control. Además hay muchas ganancias intangibles, como por ejemplo la eliminación de mano de obra pasiva, la cual provoca una demanda equivalente de trabajo especializado. La eliminación de errores es otra contribución positiva del uso del control automático.

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

El elemento más importante de cualquier sistema de control automático es lazo de control realimentado básico. El concepto de la realimentación no es nuevo, el primer lazo de realimentación fue usado en 1774 por James Watt para el control de la velocidad de cualquier máquina de vapor. A pesar de conocerse el concepto del funcionamiento, los lazos se desarrollaron lentamente hasta que los primeros sistemas de transmisión neumática comenzaron a volverse comunes en los años 1940s, los años pasados han visto un extenso estudio y desarrollo en la teoría y aplicación de los lazos realimentados de control. En la actualidad los lazos de control son un elemento esencial para la manufactura económica y próspera de virtualmente cualquier producto, desde el acero hasta los productos alimenticios.

## C. MARCO TEÓRICO COMPUTACIÓN

1. **Modelo OSI:** A finales de los 70's la Organización Internacional para la Normalización (ISO por sus siglas en inglés), comenzó a desarrollar un modelo conceptual para la conexión en red al cual se le denominó "Modelo de Referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos" comúnmente conocido como modelo OSI. Para 1984, este modelo se convirtió en el estándar internacional para las

comunicaciones en red debido a que permitía la creación de un marco de trabajo capaz de explicar la estructura y el modo en el que el flujo de datos se desplaza dentro de una red. El modelo OSI, al mismo tiempo, abarca toda la serie de eventos que se producen durante la comunicación entre sistemas, así como establece las normas para una serie de procesos distintos de conexión en red entre los que se pueden mencionar:

- La forma en la que los datos se traducen a un formato adecuado para la arquitectura de red usada; en otras palabras cuando se mandan datos como una aplicación de correo, dichos datos deben convertirse a un formato genérico al viajar por la red hasta su destino final.
- La forma en la que los dispositivos se comunican en la red; debe existir algún mecanismo de creación de un canal de comunicación entre emisor y receptor.
- La forma en se transmiten los datos entre los dispositivos, así como el modo en que se resuelve la secuencia y comprobación de errores.
- La forma en el que el direccionamiento lógico de los paquetes de datos debe convertirse en el direccionamiento físico final que proporciona la red; debido a que las redes informáticas emplean esquemas de direccionamiento como direcciones IP, estas direcciones lógicas deben convertirse en direcciones reales de hardware.

El modelo OSI también permite comprender el funcionamiento de dispositivos de red como conmutadores, routers etc. Para realizar dicho análisis, el modelo OSI se subdivide en 7 diferentes niveles o capas de abstracción resumidas a continuación:

- Capa física: abarca todos los aspectos físicos de la red es decir los cables, hubs, switches y demás dispositivos que conforman el entorno físico de la red.
- Capa de enlace de datos: la capa de enlace de datos se encarga de desplazar los datos por el enlace físico de comunicación hasta el nodo receptor, al mismo tiempo identifica cada computador incluido en la red, según su dirección de hardware codificada en la NIC de cada PC. En la capa de enlace de datos Los datos se ubican en tramas definidas por la arquitectura de red empleada.
- Capa de red: la capa de red encamina los paquetes además de entregarlos. Al mismo tiempo determina la ruta que deben seguir los datos así como el intercambio de los mismos en la ruta. Es en esta capa donde las direcciones lógicas como la IP de una computadora se transforman en una dirección física.
- Capa de transporte: la capa de transporte es la encargada de controlar el flujo de datos entre los nodos en los que se establece comunicación. Los datos deben entregarse sin errores y en la secuencia que proceda. En esta capa se verifica el tamaño de los paquetes de datos con la finalidad que tengan el tamaño requerido para los protocolos de las capas inferiores.
- Capa de sesión: la capa de sesión establece el enlace de comunicación o sesión entre emisor y receptor, al mismo tiempo gestiona la sesión que se establece entre nodos.
- Capa de presentación: la capa de presentación funciona como el traductor del modelo OSI. Esta capa toma los paquetes de la capa de aplicación y los convierte en un formato genérico para poder ser

leídos por cualquier computadora. En esta capa también se pueden cifrar y/o comprimir los datos según sea necesario.

- Capa de aplicación: la capa de aplicación proporciona la interfaz y servicios que soportan las aplicaciones de usuario, así como ofrece acceso general a la red. Esta capa provee todas las herramientas que el usuario ve y con las que interactúa, desde la transferencia de archivos hasta la consulta a bases de datos.

2. **Modelo TCP-IP:** El modelo TCP/IP creado por el departamento de defensa de EEUU, surgió por la necesidad de tener una red capaz de soportar cualquier catástrofe. Este modelo fue posteriormente el estándar a partir del cual surgió internet. El modelo TCP/IP posee 4 capas las cuales son:

- Capa de aplicación: la capa de aplicación maneja protocolos de alto nivel así como aspectos de representación codificación y control de diálogo. El modelo TCP/IP permite combinar todos los aspectos relacionados con las aplicaciones en una sola capa, mientras asegura que los datos estén correctamente empaquetados para la capa siguiente.
- Capa de transporte: esta capa se refiere aspectos de confiabilidad, control de flujo y corrección de errores. Uno de sus protocolos es el protocolo para el control de transmisión (TCP) que ofrece una forma flexible para crear comunicaciones de red confiables. El TCP es un protocolo orientado a la conexión pues mantiene un diálogo entre el origen y el destino mientras empaqueta información de la capa de aplicación en segmentos.
- Capa de internet: el objetivo de esta capa es mandar paquetes origen desde la red en la internetwork y que lleguen a su destino determinado independientemente de la ruta y de las demás redes. El protocolo que rige esta capa se como Protocolo Internet (IP).
- Capa de acceso de red: también se le conoce como capa de host a red y se encarga de todos los aspectos que requiere un paquete IP para realizar un enlace físico. Esta capa incluye los detalles de tecnología LAN y WAN, así como todos los detalles de la capa física y de enlace de datos del modelo.

Tabla 7. Comparación entre modelo OSI y TCP/IP

Similitudes	Diferencias
Ambos se dividen en capas	TCP/IP combina las funciones de la capa de presentación y sesión en la capa de aplicación
Ambos tienen capas de aplicación	TCP/IP combina la capa de enlace de datos y capa física del modelo OSI en una sola capa
Ambos tienen capas de transporte y red similares	
tecnología de conmutación por paquetes	

3. **Modelo cliente-servidor:** La arquitectura cliente/servidor, es una forma de dividir y especializar equipos y aplicaciones de manera que la tarea que cada uno debe desempeñar, se realiza de la mejor forma posible, así como permite simplificar las actualizaciones y mantenimiento del sistema. El modelo cliente/servidor pretende proveer usabilidad, flexibilidad e interoperabilidad en las

comunicaciones. Su funcionamiento puede explicarse básicamente como una computadora cliente que requiere el servicio de una máquina servidor, y éste desempeña la función para la cual está programado. En un sistema distribuido cada máquina puede tener el rol de servidor para ciertas tareas y cliente para otras.

4. **Servidores Web: IIS:** el Internet Information Services (IIS por sus siglas en inglés) se encarga de integrar una serie de herramientas para la creación, configuración y administración de sitios web. Se pueden resaltar varias características de este servidor Web, entre estas:

El IIS es el segundo servidor web más usado en Internet, especialmente en entornos corporativos.

Existen hasta la fecha 6 versiones diferentes y se está desarrollando la séptima.

En versiones anteriores a la 6 todas las características y funcionalidades de IIS eran ejecutadas por la cuenta de administrador del sistema, lo cual presentaba diversos fallos de seguridad.

a. **Apache:** Apache constituye actualmente el servidor web más usado de internet. Entre sus características se pueden mencionar:

- Su uso extendido abarca aproximadamente un 65%.
- Es un servidor que se sigue desarrollando como un proyecto de software libre.
- Los objetivos de su diseño son la velocidad, simplicidad, multiplataforma y facilidad de desarrollo.
- Todo el código fuente de Apache esta desarrollado en C.
- En la actualidad existen una gran cantidad de servidores web entre los que se pueden mencionar: Cherokee, flash entre otros.

5. **HTML:** Es el acrónimo para Hyper Text Markup language y consiste en un lenguaje con un formato basado en SGML utilizado para la creación de páginas web. Actualmente HTML se encuentra por la versión 4.01. HTML es un lenguaje empleado para detallar la forma y contenido de las páginas web. Una característica de este lenguaje es el hecho que se escribe en forma de etiquetas. Todo lenguaje debe tener una serie de reglas sobre la forma en que debe presentarse el contenido con la finalidad de tener la mejor presentación posible para quien lo observa. Para tal regulación se creó la W3C, entidad que se ha encargado de la estandarización de normas para el desarrollo de sitios web. Otra herramienta de lenguaje es el XHTML (Extensible Hyper Text Markup language por sus siglas en inglés) el cual puede considerarse como una versión mejorada y más estricta del HTML v 4.01 con algunas reglas tales como:

- Las etiquetas en XHTML deben ser escritas en minúscula
- Los elementos deben ser anidados correctamente
- Todos los tags en XHTML deben cerrarse
- Todos los documentos en XHTML deben tener una estructura adecuada.
- Otro elemento importante que debe considerarse cuando se crean páginas web con HTML es el CSS, que consiste en un lenguaje que define el estilo de los elementos del DOM de html

6. **XML:** Es el acrónimo para Extensible Markup Language. Consiste en un lenguaje muy parecido a HTML. XML fue diseñado para manejar datos, no para desplegarlos. Las etiquetas en XML no son predefinidas, sino que deben ser definidas por el diseñador. Este lenguaje se encuentra entre las recomendaciones de la W3C para el desarrollo de sitios web. Es importante mencionar el hecho que XML no es un lenguaje que puede reemplazar al HTML, este lenguaje tiene un objetivo diferente. HTML fue diseñado para desplegar datos, por lo que se enfoca en la parte estética de la presentación de los datos. Por otro lado XML fue diseñado para transportar y guardar datos, y se centra en el contenido de los datos.

#### 7. **Lenguajes de programación Web:** PHP: responde al acrónimo de Hypertext

preprocessor y consiste en un lenguaje ampliamente usado para el desarrollo web, el cual puede ser integrado con HTML. De manera que al momento de crear páginas web con una gran cantidad de código de salida en HTML, las páginas web construidas con PHP contienen código HTML que realiza alguna función. La gran ventaja de PHP es la facilidad con la que se puede aprender y comenzar a usarse. PHP tiene funciones como la de recolectar información, generar contenido de páginas dinámicas, mandar o recibir cookies entre otras tareas. En general existen 3 áreas donde los scripts de PHP pueden emplearse:

- **Server-side scripting:** que es el uso más tradicional de PHP, únicamente se necesitan el parser de PHP (CGI o módulo de servidor), un web server y un web browser.
- **Command line scripting:** pueden hacerse scripts de PHP para que corran sin la necesidad de un server o un browser. Únicamente se necesita un parser de PHP. Este uso de PHP es ideal para scripts ejecutados usando cron (en Linux) o Task Scheduler (en windows).
- **Escritura de aplicaciones en desktop:** PHP no es probablemente el mejor lenguaje para crear aplicaciones desktop con una interfaz gráfica, pero PHP tiene aplicaciones cliente-servidor para dichas tareas.

La ventaja de usar PHP es su compatibilidad con virtualmente cualquier sistema operativo, así como soporta la mayoría de los servidores web actuales incluyendo Apache, Netscape, Microsoft Internet Information Server, Personal Web Server etc. con PHP se tiene la ventaja que no está limitado a una salida de HTML, pueden desplegarse archivos PDF, incluso animaciones en Flash, usando PHP se puede desplegar cualquier texto como XHTML o cualquier otro archivo XML.

#### 8. **Bases de datos:** Una base de datos es una colección de interrelacionada de datos arreglados

como una sola unidad. Esta definición es deliberadamente amplia, debido a que cada proveedor de software define que es la base de datos acorde a su tipo de servicio, de esta manera Microsoft Access coloca la base de datos en un solo archivo de manera que una base de datos de Access puede definirse como un archivo que contiene datos. Oracle define una base de datos como una colección de archivos físicos que se administran por una instancia de su software de base de datos. Microsoft SQLServer y Sybase definen una base de datos como una colección de datos que tiene un propietario común, y las bases de datos múltiples son típicamente manejadas por una sola instancia del software de la base de datos. Para

evitar discrepancias al respecto de si se trabaja con una base de datos o no, se ha convenido que una base de datos posee una serie de características entre las que se pueden mencionar:

- Administración por un Database Management System (DBMS)
- Capas de abstracción de datos
- Independencia física de datos
- Independencia lógica de datos

Modelo relacional: un problema en las bases de datos es la inflexibilidad, debido a que debe seguirse un camino preconcebido a través de los datos con la finalidad de procesar dichos datos eficientemente. De manera que se implementó el modelo relacional para solucionar este inconveniente. El modelo relacional está basado en la noción que cualquier camino preconcebido a través de una estructura de datos, es demasiado restrictivo. El modelo relacional ofrece la capacidad de relacionar records como sea necesario en lugar de ser predefinidos cuando dichos records se guardan en la base de datos. De manera que el modelo relacional está construido de la misma manera como funciona una query con un set de datos. El modelo relacional presenta los datos en tablas bidimensionales que permiten combinar tablas para formar vistas presentadas como tablas bidimensionales.

Un proceso que debe realizarse con las bases de datos es la normalización de las mismas. La normalización es la técnica que se realiza para producir un set de relaciones que poseen un cierto conjunto de propiedades. Brevemente consiste en tomar alguna relación (datos representados lógicamente en un formato bidimensional usando filas y columnas) y se escoge un identificador único para la entidad que la relación representa. Luego con una serie de pasos se reorganiza la relación a formas continuamente más progresivas.

Existen una gran variedad de bases de datos, sin embargo puede mencionarse una base de datos sumamente popular y open source: MySQL, es gracias a su performance rápido y consistente así como características de confiabilidad y uso sencillo que es ampliamente usada.

9. **Ajax**: Es un acrónimo de Asynchronous JavaScript + XML, que puede traducirse como

"JavaScript asíncrono + XML". AJAX consiste en la agrupación de varias tecnologías entre las que se encuentran:

- XHTML y CSS, para crear una presentación basada en estándares.
- DOM, para la interacción y manipulación dinámica de la presentación.
- XML, XSLT y JSON, para el intercambio y la manipulación de información.
- XMLHttpRequest, para intercambiar asíncronamente la información.
- JavaScript, para unir todas las tecnologías.

En las aplicaciones web tradicionales, las acciones del usuario en la página generan llamadas al servidor. Una vez procesada la petición el servidor devuelve una nueva página HTML al navegador del usuario. Esto funciona, pero el usuario debe esperar que se recargue la página con los cambios solicitados.

AJAX elimina la recarga constante de páginas mediante la creación de un elemento intermedio entre el usuario y el servidor. Esto mejora la respuesta de la aplicación, ya que el usuario nunca se encuentra con una ventana del navegador vacía en espera de la respuesta del servidor.

**10. Web Services:** Un web service es un sistema de software diseñado para soportar la interoperabilidad entre máquinas a través de una red. Éste tiene una interfaz en un formato que puede ser procesado por una máquina (específicamente WSDL). Otros sistemas interactúan con el Web service utilizando mensajes SOAP (SOAP es un protocolo que permite la comunicación entre aplicaciones a través de mensajes por medio de Internet.

Es independiente de la plataforma, y del lenguaje y se basa en documentos XML) los cuales se encuentran preestablecidos. Un Web Service es entonces una comunicación por medio de mensajes SOAP (entre diferentes equipos a través de una red misma red. Entre los elementos que deben mencionarse para la los web services con PHP son: WSDL que consiste en un protocolo basado en XML que describe los accesos al Web Service. Indica cuales son las interfaces que provee el Servicio web y los tipos de datos necesarios para su utilización. Y el UDDI “Universal Discovery Description and Integration” que consiste en un modelo de directorios para Web Services. Especifica cómo estandarizar los directorios de información acerca de los Web Services, sus capacidades, ubicación, y requerimientos.

**11. Analizadores léxicos:** Una analizador léxico o scanner lee una secuencia de caracteres del programa fuente, caracter por caracter, y los agrupa para formar unidades con significado propio, estos componentes léxico o tokens incluyen:

- Palabras reservadas
- Identificadores asociados a variables, funciones etc
- Operadores (+, - etc)
- Símbolos especiales () [] etc
- Constantes numéricas
- Constantes de caracteres

El analizador léxico funciona bajo petición del analizador sintáctico devolviendo un componente léxico conforme el analizador sintáctico lo necesita para avanzar en la gramática. Los componentes léxico son los símbolos terminales de la gramática.

**12. Analizadores sintácticos:** Un analizador sintáctico o Parser es un programa que reconoce si una o más cadenas de caracteres forman un determinado lenguaje. Los lenguajes reconocidos por los analizadores sintácticos son lenguajes libres de contexto, es decir son reconocibles por un autómata de pila. Los analizadores sintácticos fueron extensivamente estudiados durante los años 70's lo que desembocó en la creación de programas generadores de analizadores sintácticos a partir de una especificación de la sintaxis del lenguaje, entre los que se pueden mencionar yacc, javacc etc.

**13. Manejadores de contenido:** Los manejadores de contenido también conocidos como CMS son herramientas que permiten optimizar tiempo al momento de desarrollar un sitio web ya que solo se realiza el diseño y la implementación además de que permite hacer sitios bastante robustos. Entre estas herramientas cabe mencionar Joomla:

Joomla es un sistema manejador de contenidos que permite crear sitios Web bastante eficientes. La administración de Joomla está basada en la gestión de contenidos. Con Joomla se puede crear sitios Web e incluso sistemas que funcionen en redes cerradas (Intranets) para gestionar información interna (comunicaciones, usuarios, etc.). la interfaz administrativa de Joomla permite administrar los contenidos web de manera intuitiva sin la necesidad de poseer conocimientos técnicos especializados, en HTML por ejemplo. Entre las características principales de Joomla se pueden mencionar:

- Reutilización de objetos o componentes: puede recuperarse y reutilizarse el contenido de páginas, documentos y cualquier objeto almacenado.
- Cambios del aspecto del sitio web: Joomla facilita las modificaciones en los sitios con la utilización, por ejemplo, del estándar CSS (Cascading Style Sheets) para que haya un orden visual. Joomla permite aplicar un mismo estilo en todas las páginas con el uso de CSS y aplicar una misma estructura mediante patrones de páginas.
- Control de acceso: Joomla gestiona los permisos para cada área del sitio web.

**14. Interacción humano-computador:** También conocida como HCI por sus siglas en inglés, se refiere a la relación que existe entre los usuarios humanos y los sistemas de cómputo que usan para realizar diferentes tareas. Los procesos de HCI buscan entender cómo “funcionan” los usuarios con la finalidad de realizar las tareas que necesitan realizar, así como la forma que deben estructurarse los sistemas computacionales para facilitar el cumplimiento de dichas tareas. El sistema de cómputo debe entenderse en términos de lo que puede hacer por el usuario en otras palabras la usabilidad de los sistemas; que se refiere a la claridad y forma con la cual sucede la interacción con un programa o sitio web.

**15. Interacción humano máquina:** A diferencia de herramientas manuales como martillos o desarmadores las computadoras no comunican visiblemente su propósito y funcionalidad por sí mismos. La tarea de los HMI o sistemas de interacción humano máquina es hacer que las funciones de la tecnología sean intuitivas y explícitas por sí mismas. La efectividad de los HMI se mide por el número de componentes como la capacidad de aprendizaje y productividad. Estos componentes conforman la usabilidad del sistema o calidad de uso. La efectividad se refiere a si el sistema satisface las necesidades del usuario. La eficiencia se refiere a la facilidad con la que el usuario puede aprender a usar el sistema así como la capacidad de realizar tareas rápidamente con la menor cantidad de errores.

**16. SCADA:** Es un acrónimo para "Supervisory Control And Data Acquisition". Consiste en una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de

producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos. Un sistema SCADA de proveer de:

- Capacidad de crear paneles de alarma
- Generación de registros históricos de señal de planta
- Ejecución de programas para modificar, controlar o anular tareas dadas
- Programación numérica

**17. Siteplayer:** Es un circuito integrado que posee un servidor web completo. De manera que se puede conectar cualquier proyecto a Internet con solo implementarlo. El Siteplayer cuenta con 48 Kbytes de espacio para crear páginas web personalizadas, así como 8 puertos de entrada salida y un puerto serie que puede ser controlado desde Internet. Puede utilizarse solo de forma independiente, o conectarse a cualquier microcontrolador o procesador con un puerto serial. Este componente electrónico es compatible con protocolos ARP, ICMP, IP, UDP, TCP y DHCP. El firmware es actualizable desde la conexión ethernet, al igual que la actualización de las paginas web. Respecto a los requerimientos y características físicas, el Siteplayer necesita una alimentación de 5V y 75 mA. Sus dimensiones son 23 x 33 mm. Posee un sistema de desarrollo y un emulador para PC.

Figura 16. Vista física de un SitePlayer.



## D. MARCO TEÓRICO PLANIFICACIÓN

**1. Definición de proyecto:** La administración de proyectos no es una práctica nueva, se han elaborado y gestionado proyectos desde tiempos muy antiguos, aunque sin las herramientas y estilo de organización que se utilizan en la actualidad. Es a partir de la Segunda Guerra mundial, en que se hicieron avances importantes en las técnicas de aplicación en la gestión de proyectos.

Según Sapag Chain (2000:1) un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de una problemática u oportunidad a resolver, por lo tanto corresponde a una necesidad social. El proyecto surge como respuesta a una idea la solución de un problema, por ejemplo el reemplazo de tecnología obsoleta, el abandono de una línea de productos o el aprovechamiento de una oportunidad de negocio. Es importante mencionar que los proyectos poseen una duración temporal, que puede ser de días, semanas, meses o hasta años, dependiendo de la envergadura del mismo. La duración predeterminada de los proyectos se debe a que este es una respuesta a una necesidad, por lo tanto al concluir la ejecución final, los proyectos pasan a ser parte de la operación normal en la situación implementada.

Según Briceño (1996:6), la administración eficiente de proyectos requiere de una secuencia cronológica de fases o etapas que son:

- Formulación y evaluación
- Administración y dirección
- Puesta en marcha de las instalaciones (ejecución)
- Fase operacional

A continuación se describen cada una de estas fases.

## **2. Formulación y evaluación de proyectos:** La formulación y evaluación de proyectos

consiste en el desarrollo de la idea original como respuesta a una problemática u oportunidad existente. El desarrollo de la idea consiste en la elaboración de cuatro evaluaciones indispensables: de mercado, técnica, organizacional y financiera. Estos estudios en conjunto brindan los criterios de decisión necesarios para desarrollar o no el proyecto.

El estudio de mercado permite identificar a la población necesitada y el perfil de los consumidores a satisfacer. Esto permite establecer la oferta y demanda actuales con el objetivo de justificar el producto o servicio a ofrecer. Un producto o servicio que no cumpla con las características que el usuario o consumidor desea, es un proyecto que no conviene desarrollarse.

El estudio técnico verifica la tecnología e ingeniería disponibles, así como sus proveedores, para llevar la idea del proyecto hacia una realidad al consumidor o usuario. En esta fase se desarrollan los procesos necesarios, así como el costo de los insumos y mano de obra (costos de operación).

El estudio organizacional permite conocer el entorno en el cual se administrará el proyecto. Por lo tanto se decide el tipo de grupo de trabajo, los aspectos administrativos y legales del proyecto.

Por último se realiza la evaluación financiera, la cual agrupa los costos de operación del estudio técnico y la estimación de la demanda del estudio de mercado. Estos factores, junto con la disponibilidad de capital propio y/o prestado, permiten evaluar la factibilidad financiera del proyecto así como el nivel del riesgo.

## **3. Administración y dirección:** Según Briceño (1996:7), la administración y dirección de proyectos tienen como misión materializar el proyecto en las mejores condiciones posibles. Los

objetivos a cumplir en la administración y dirección de proyectos están: lograr la mejor calidad técnica de las instalaciones, cumplir con el presupuesto definido y ejecutar las obras en el plazo planeado. Para lograr los objetivos anteriores es indispensable implementar las siguientes actividades:

- Definir e implementar la organización matriz
- Administrar la ingeniería completa del proyecto
- Negociar e implementar los planes de financiamiento
- Definir y concretar el plan de compras

A continuación se describirán las características de cada una de ellas.

a. **Organización matriz del proyecto:** La primera fase de organización es establecer el objetivo general del proyecto, el cual se establece en la fase de evaluación del mismo. El segundo paso es definir el grupo de trabajo a desarrollar e implementar el proyecto. Dependiendo del ámbito en el que se maneje el proyecto, el grupo de trabajo será escogido o formado voluntariamente como es el caso de los círculos de calidad. Al tener el grupo de trabajo definido, el siguiente paso es el de separación de funciones.

Se recomienda realizar la separación de funciones dependiendo de las habilidades y experiencias de cada miembro del grupo de trabajo. Para ello una separación por módulos o bloques es útil, además permite identificar las dependencias entre los miembros.

Es importante definir el rol de cada miembro del grupo de trabajo, sus alcances, responsabilidades y dependencias con otros roles. Esto permite una organización clara de las actividades a cumplir en la ingeniería total del proyecto.

b. **Administración de la ingeniería completa del proyecto :** La administración de la ingeniería completa del proyecto consiste en la planificación de las actividades críticas para que el proyecto se entregue en el plazo definido, cumpliendo todos los objetivos establecidos en la formulación evaluación. El cumplimiento de la planificación dependerá de la tecnología a implementar, recursos humanos disponibles, equipo y recursos económicos. Por lo tanto son indispensables las herramientas de monitoreo del plan.

Para lograr una planificación satisfactoria de proyectos son indispensables las siguientes etapas:

- Definir la meta del proyecto / objetivo final
- Evaluar los recursos disponibles (humanos, económicos y tecnológicos)
- Definir los objetivos específicos a alcanzar
- Establecer para cada objetivo las actividades a realizar así como el responsable de las mismas
- Definir un plazo de ejecución considerable para cada actividad
- Seguimiento de márgenes de demora y ruta crítica

La planificación requiere de herramientas gráficas que permiten una mejor visualización del estado actual del proyecto, así como la identificación de oportunidades y responsables de las mismas. Entre las

herramientas gráficas más utilizadas están: el diagrama de Gantt, PERT, PDM y ADM, siendo el de Gantt el más empleado por su facilidad de manejo con el Software Microsoft Project.

1.) **Diagrama de Gantt:** Es un diagrama que muestra la fecha de comienzo, final de la actividad y duración estimada de la misma. El eje horizontal muestra la lista de actividades y el eje vertical corresponde a la escala de tiempo, la cual dependerá del proyecto (días, semanas, meses, trimestres, semestres, años).

2.) **PERT (Program Evaluation and Review Technique):** Técnica basada en redes que muestran las relaciones de precedencia de las actividades con el objetivo de programar un proyecto con el coste mínimo y duración adecuada.

3.) **PDM (Precedence Diagramming Method):** Herramienta de programación de actividades que consiste en la conexión de nodos que muestran las dependencias entre actividades. Los nodos representan las tareas y los arcos corresponden a los retrasos de tiempo.

4.) **ADM (Arrow Diagramming Method):** Herramienta de planificación en la cual las actividades están representadas por flechas que se dirigen a nodos que corresponden a las dependencias entre una actividad y otra.

c. **Negociación y planes de financiamiento:** Para llevar a cabo la negociación y planes de financiamiento se debe tener claro el presupuesto necesario para implementar totalmente el proyecto. El siguiente paso es identificar a los sectores interesados en invertir en el proyecto y se presenta la idea del mismo, mostrando los beneficios hacia el inversionista así como su justificación en el mercado. Para lograr obtener los fondos necesarios para el proyecto se recomienda hacer uso de la venta conceptual que consiste en:

- **Apertura:** Presentación del equipo de trabajo del proyecto, descripción resumida del proyecto a desarrollar, antecedentes y justificación del mismo.
- **Características del proyecto:** Mostrar beneficios del proyecto, los objetivos a cumplir, tiempo aproximado de duración, así como el retorno económico o social al final de la ejecución del proyecto.
- **Recursos necesarios:** Después de mostrar los beneficios y retorno esperado, se plantean los fondos necesarios para el desarrollo del proyecto, así como las cantidades necesarias por plazos de tiempo.
- **Cierre:** Se pregunta al inversionista si tiene alguna duda acerca de la exposición y se espera la respuesta final del mismo. El tiempo de respuesta dependerá del inversionista, no se recomienda presionar a una respuesta inmediata.
- **Resultados:** En caso la respuesta del inversionista sea afirmativa, se debe compartir al mismo la planificación detallada del proyecto, así como el uso de recursos en los plazos definidos

En los casos el inversionista se niegue a colaborar con el proyecto es importante entender el porqué del mismo, ya que este aprendizaje servirá para corregir oportunidades en futuras negociaciones.

**d. Plan de compras:** El plan de compras consiste en la compra de todo el equipo y herramientas necesarias para cumplir con cada etapa de la planificación del proyecto. En este plan contribuyen todos los miembros del grupo de trabajo con retroalimentación de las herramientas y equipo necesario para ejecutar cada una de las tareas individuales. Las compras se deben priorizar dependiendo de sus necesidades cronológicas.

Es indispensable realizar una investigación de los mejores proveedores para cada equipo y herramienta, serán determinantes los precios y plazos de entrega. Para compras internacionales también se debe evaluar la estabilidad en el tipo de cambio y los impuestos de importación.

**4. Ejecución del proyecto:** Según Briceño (1996:8) la puesta en marcha del proyecto es una etapa crítica que requiere ser planificada y coordinada por el ente administrador del proyecto. El seguimiento de las actividades críticas por medio de una gráfica Gantt ayuda a identificar oportunidades a tiempo y completar el proyecto en el plazo definido. La ejecución del proyecto también involucra el manejo de inventario, calibración y mantenimiento de equipo, capacitación del personal, pruebas de equipos comprados y montajes.

**5. Fase operacional:** Es la última fase del proyecto y corresponde a la puesta en marcha en operación normal de lo implementado por el proyecto. Esta fase ya no es responsabilidad del ente administrador del proyecto, sino más bien del equipo de operaciones.

## IV. ANTECEDENTES

El inicio de esta serie de proyectos multidisciplinarios entre los departamentos de Ingeniería Química e Ingeniería Electrónica surge con la iniciativa del Departamento de Ingeniería Química de la UVG de invertir en el laboratorio de operaciones unitarias con el objetivo de lograr tener un equipo moderno y automatizado de vanguardia. La solución para su inquietud estaba dentro de la misma universidad. El departamento de Ingeniería Electrónica de UVG se ha caracterizado por contar con egresados con un alto nivel académico, por lo que podría ser que estos mismos estudiantes, asesorados por los futuros ingenieros químicos, puedan transformar los equipos mecánicos y manuales del laboratorio de operaciones unitarias en equipos automatizados haciendo en su conjunto un laboratorio moderno, comparable con las grandes industrias que operan hoy en día en el mundo moderno.

Fue así como se empezó la primera fase de automatización del laboratorio, donde se logró automatizar una columna de absorción. Dicho proyecto fue realizado por el Ingeniero Electrónico Otto Girón, obteniendo como resultados fue la automatización de dicha columna por medio de dos válvulas proporcionales, sensores de presión, sensores de temperatura, sensor de humedad, control de bomba de agua, todo esto por medio de una interfaz visual con retroalimentación al usuario.

Después de la exitosa primera fase de automatización industrial rápidamente se fueron abriendo puertas para que más estudiantes se fueran involucrando en el proyecto, y fue así como nace la segunda fase de automatización del laboratorio de operaciones unitarias, el cual tuvo los siguientes requerimientos:

- Automatizar una columna de destilación.
- Utilizar variadores de frecuencia para automatizar una torre de enfriamiento.
- Crear una interfaz para usuario de cada uno de los módulos.
- Colocar todos los datos generados por los sistemas automatizados en Internet por medio de una red WiMax.
- Recibir comandos desde la red para manipular componentes dentro de los módulos que serán automatizados.
- Mantener el funcionamiento mecánico paralelo al automático para fines didácticos.

Este Megaproyecto consta de la automatización de la columna de destilación. Este proceso se efectuó a través del trabajo de 6 personas. Tres de ellos estudiantes de Ingeniería Electrónica, un estudiante de Ingeniería Química un estudiante de Ingeniería en Ciencias de la Computación y un estudiante de Ingeniería Industrial. El trabajo completo se divide en submódulos interdependientes donde cada miembro del grupo es responsable de tareas específicas como se detalla en la Figura 1. La idea de dividir las tareas es brindar la posibilidad a cada miembro del grupo de poder llevar a cabo el trabajo asignado sin depender directamente del trabajo de los otros compañeros, pero al final el objetivo es llevar a cabo el proyecto completo con una funcionalidad óptima.

## V. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA

Este Megaproyecto comprende la segunda fase de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG, la cual consiste en la automatización de la columna de destilación.

El Megaproyecto comprende un equipo que posee tres modos de operación: manual, semiautomático y automático. En el primero la operación del mismo es efectuada por el operador del equipo. El sistema semiautomático permite al operador modificar las variables y la instrumentación se encarga de verificar que se realicen dichas modificaciones. Por último, en el modo de operación automático, se ingresan ciertos parámetros de operación con los cuales el sistema predice parámetros de funcionamiento que en conjunto permite controlar el proceso.

A la columna de destilación se le instaló un refractómetro en línea, 26 válvulas solenoides, 3 válvulas proporcionales, 2 sensores de presión, 1 rotámetro y 13 termopares. Se implementó un sistema de medición de vapor condensado para proporcionar el dato de flujo de calor introducido al sistema.

Para la construcción de todo el sistema automatizado se utilizaron tres mediciones trascendentales. La medición de la presión interna de la columna de destilación permite determinar si ésta se encuentra en equilibrio o no. La medición del vapor condensado es una medida que indica la cantidad de energía que está requiriendo el proceso. La medición del flujo de alimentación permite saber al usuario qué tanta mezcla tiene aún disponible para alimentar la columna y qué tan rápido está siendo alimentada.

El Megaproyecto también comprende el desarrollo del controlador maestro el cual maneja de tráfico de datos, se comunica con el Siteplayer, se comunica con la computadora y realiza el control automático de la columna de destilación; además un miro-controlador que funciona como un selector entre Siteplayer y la computadora.

Otra parte fundamental del Megaproyecto fue el desarrollo de una aplicación para internet, donde los usuarios del sistema pueden acceder y comunicarse con los módulos de automatización.

El impacto del Megaproyecto es el de ofrecer a los estudiantes de UVG un equipo automatizado moderno y de vanguardia, con el objetivo que los estudiantes puedan utilizar equipos piloto similares a los que se emplean en las grandes industrias.

Queda fuera de este Megaproyecto el mantenimiento e instalaciones posteriores de los equipos automatizados en esta segunda fase: columna de destilación y variadores de frecuencia. El Módulo de Columna de Destilación tiene orientación para investigación y estudio, tomando en cuenta las dimensiones de la columna (diez platos), por lo cual se queda al margen de aplicaciones en producción a granel o a nivel industrial de alcohol.

Otra actividad fuera de este Megaproyecto fue el manejo de estados de cuenta del presupuesto disponible para el proyecto, ya que esto fue manejado desde el inicio por los Departamentos de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Química, debido a que el Megaproyecto se implementó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.

También queda fuera de este Megaproyecto el apoyo del Módulo de Planificación al Módulo de variadores de frecuencia, por trabajarse independientemente este último en la modalidad de trabajo de graduación individual.

## VI. METODOLOGÍA

### A. Módulo parámetros de operación del proceso

#### 1. Diagrama de proceso e instrumentación:

- a. Evaluación del estado inicial del equipo: Se estableció el estado y las condiciones que presentaba la torre de destilación.
- b. Proponer el diagrama del equipo automatizado y los accesorios electrónicos: Indicar los accesorios y sensores que se colocaran en la torre de destilación, indicando su posición.

#### 2. Predicción de parámetros de operación:

- a. Elección del método para la predicción de los parámetros de operación: para determinar la curva de operación, flujo de calor del condensador y calderín.
- b. Construir la curva de equilibrio y, x: Consiste en elaborar las curvas de equilibrio etanol-agua, a presión constante. Procediendo a la determinación de los coeficientes de activación:

Elegir el método para la estimación de coeficientes de activación: Se realizó una revisión de la bibliografía, con el objetivo de encontrar el método que permiten realizar estimaciones del coeficiente de actividad de la mezcla etanol-agua.

Realizar las estimaciones de los coeficientes de activación: Desarrollar el programa para la estimación de los coeficientes de activación, utilizando la concentración de la fase líquida y la presión, se obtenga concentración de la fase gaseosa y la temperatura.

- c. Construir la curva de entalpía de la fase gaseosa y líquida en función de las fracciones gaseosa y líquida respectivamente: Se elaboran por medio de una ecuación la cual este en función de la temperatura y la fracción de la fase respectiva a presión constante. Las ecuaciones deben ser elaboradas para la fase gaseosa y líquida.

- d. Determinar las curvas de operación para la fase de agotamiento y enriquecimiento de la torre de destilación: Para la elaboración de las curvas de operación según el método que se elija.

#### 3. Determinar el valor de operaciones reales de la torre de destilación: Con la

información que brinda la instrumentación colocada en la torre de destilación se calculara parámetros de operación reales del proceso como: el flujo de calor del calderín, el flujo de calor del condensador, la fracción en la fase gaseosa, la razón de reflujo, para cada plato la entalpía en ambas fases.

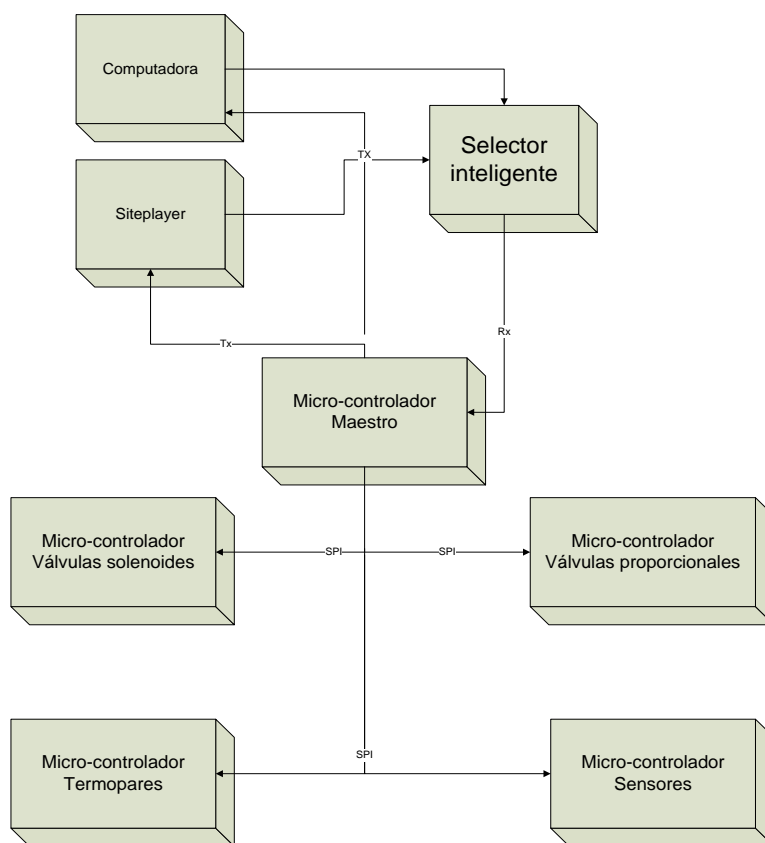
- a. Índice de refracción: Se realizó una búsqueda en la bibliografía que permita relacionar la fracción molar de la fase líquida en función del índice de refracción, para las mezclas etanol-agua. Se llevará a cabo una calibración del refractómetro por medio del condensado en cada plato, obteniendo un índice de refracción, temperatura y la concentración de la fase líquida.

4. **Pruebas de arranque del equipo:** Esta fase comprende la calibración de la instrumentación, con la cual se definirán los límites de operación de la torre de destilación. Posteriormente inicia la realización de pruebas con las cuales permitirán realizar los últimos ajustes, para el correcto funcionamiento de la torre de destilación.

## **B. Módulos: Actuadores, sensores de temperatura y lectura de refractómetro; medición de presión interna, volumen y flujo de vapor condensado y alimentación; y módulo control, comunicación e interfaz de usuario.**

1. **Metodología general:** La topología general del proyecto se muestra en la Figura 17. Este módulo comprende: el micro-controlador maestro (MASTER), la comunicación con SitePlayer, el selector inteligente, la aplicación y el rotámetro que está manejado por el micro-controlador de sensores.

Figura 17: Topología general del proyecto de automatización.



2. **Descripción del equipo y funcionalidad:** Para saber las especificaciones necesarias del equipo que fue cotizado y adquirido, se hicieron varias corridas o puestas en

marcha experimentales de la torre de destilación. Se tomó datos de temperatura, presión, medición de caudal, dimensiones físicas y rangos máximos y mínimos. Con todos estos datos ya fue posible cotizar el equipo (actuadores y transductores de temperatura para el caso de este módulo y los demás sensores para los otros módulos). El trabajo para conseguir el equipo requerido fue bastante arduo y extenso, no fue hasta el final del segundo semestre cuando se concluyó la etapa de realizar las solicitudes de compras de la mayoría del equipo. Luego de esto se tuvo una reunión con los ingenieros encargados del Laboratorio de Operaciones Unitarias de UVG para plantear las ideas a implementar, ellos propusieron modificaciones y agregaron nuevos puntos de interés para sensor. Rápidamente se procedió a adquirir el equipo que faltaba luego de pedidos especiales y extras a los acordados desde el inicio por parte del Ing. Zambrano, director del departamento de ingeniería química de la Universidad del Valle de Guatemala.

Los actuadores que se instalaron son de dos tipos, los dos que fueron tratados en la parte de marco teórico.

Se instalaron tres válvulas proporcionales; una en la entrada de vapor hacia el serpentín (calderín principal), otra para la salida de condensado (producto final de la destilación) y por último una que se utilizará para la alimentación externa hacia cualquier plato. La primera de estas válvulas debe ser capaz de soportar hasta 120 PSI y 170°C ya que éstas son las condiciones del vapor que se produce en la caldera de UVG. La válvula que se compró para estos fines es la 8290 con posicionador D normalmente cerrada de la marca ASCO.

Para las otras dos válvulas el requerimiento principal es que sean capaces de soportar acidez y corrosión con empaques adecuados para alcoholes, el fluido pasará a una temperatura aproximada de 50°C y la válvula debe soportar presiones de 25 PSI, condiciones que son satisfechas por estas válvulas. Las válvulas empleados para este fin son del fabricante Aalborg (High Quality Flow Instrumentation).

También fueron instaladas 20 válvulas solenoides en los platos, diez de ellas para seleccionar el plato al cual se desea enviar la recirculación del condensado, y las otras diez para permitir la toma de muestras líquidas que luego serán analizadas por el refractómetro en línea que se instaló para poder medir la concentración en cada plato en cualquier momento que se desee.

El proceso tiene un punto crítico, éste es cuando cae la primera gota en el condensador, y es crítico debido a la delicadeza del condensador (pieza de pyrex) en este punto se debe abrir la tubería de agua para que enfríe el condensador, por lo tanto la tubería de agua fría lleva una válvula solenoide para que el proceso se haga de inmediato y de forma automática, es decir, sin intervención de estudiantes o encargados.

Otra válvula solenoide que se instaló está en la línea de reflujo en donde se colocó también un rotámetro electrónico para medir caudal, esta con el fin de poder seleccionar la línea por la que se desea reflujar, hacia el plato superior o hacia cualquier plato. Básicamente es la válvula que permite seleccionar el camino del condensado y con ello el método de destilación utilizado.

Como ya se mencionó, la toma de muestra líquida se realiza de manera automática, por lo tanto fue necesario diseñar un mecanismo de limpieza de la tubería, para evitar que rastros de muestras se mezclaran con la nueva mezcla y así dar confiabilidad a la medición hecha. Para esto se diseñó un sistema

de lavado y secado rápido, este sistema lo que hace es abrir el paso en el fondo de esta tubería (para que las sustancias de limpieza no se estanquen) que luego de tomar la muestra deja fluir agua por la tubería (el paso o no de agua se controla con una válvula solenoide), luego de un tiempo prudencial en donde se deja fluir el agua se corta el paso de agua para permitir el secado, el secado se realiza dejando fluir aire comprimido por la tubería, esto con el fin de secar la tubería y evitar que queden rastros de la muestra antigua y de agua. Del mismo modo, luego de un tiempo prudencial se cierra el paso en el fondo de esta tubería para que cuando se tome la siguiente muestra, esta se estanque y así se pueda medir la concentración de alcohol.

Por lo tanto el resumen del equipo que se instaló en la columna de destilación es el siguiente:

- 2 válvulas proporcionales con empaque y cuerpo resistente a alcoholes.
- 1 válvula proporcional con empaque y cuerpo resistente a vapor.
- 26 válvulas solenoides con empaque y cuerpo resistente a alcoholes.
- 1 refractómetro en línea
- 11 termopares tipo J de acero inoxidable resistentes a contacto con alcoholes
- 2 termopares tipo J para medir temperatura de agua

Figura 18 Diagrama de bloques de las actividades de cada microcontrolador esclavo.

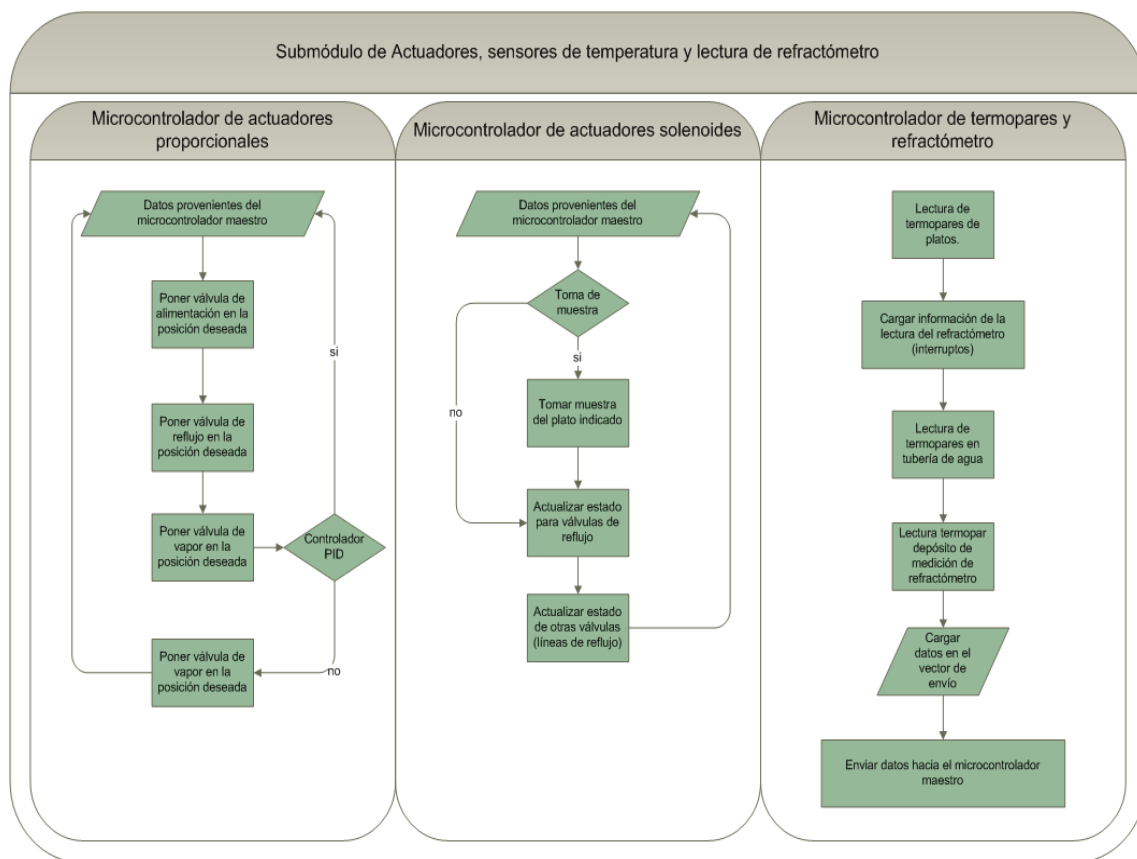
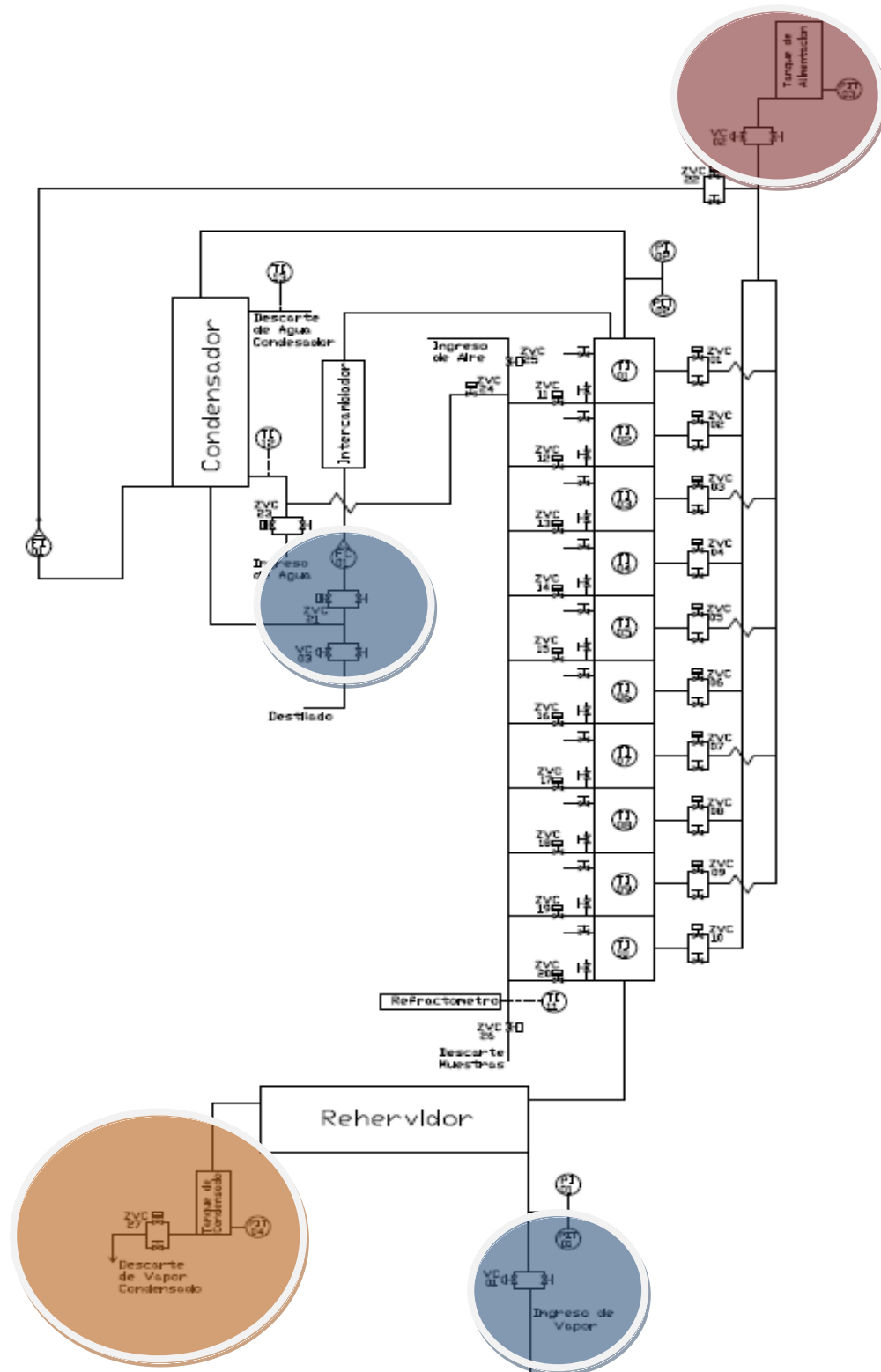


Figura 19. Diagrama general de la columna de destilación.



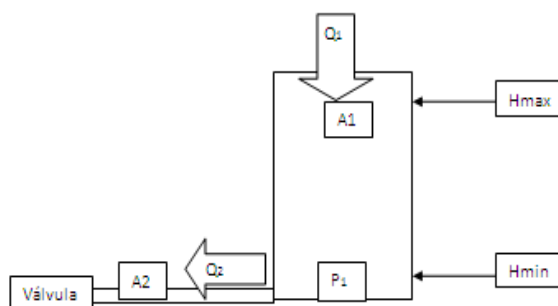
3. **Procolo maestro-esclavo:** La idea de todo el proyecto es tener un dispositivo electrónico que controle el flujo de información desde los sensores y actuadores hasta los controladores y software de control (HMI). Este dispositivo maestro es el encargado de iniciar la transferencia de datos y además generar la señal de reloj. Se puede tener el número de dispositivos esclavos que la arquitectura utilizada permita direccionar.

Para este submódulo se implementó el uso de tres esclavos gobernados por un dispositivo maestro, como ya se mencionó en secciones previas, se tiene un microcontrolador esclavo dedicado a cada uno de las diferentes tareas que deben realizar este submódulo durante el proceso de destilación.

4. **Diseño del sistema de medición de condensado de vapor:** Para la medición del vapor condensado se utilizará el modelo planteado en la Figura 20. El sistema de medición de volumen tendrá dos límites que determinan dos modos de operación distintos.

Cuando  $t=0$ , el depósito se está llenando, por lo que se espera que llegue hasta una altura  $H_{max}$  para empezar a vaciar, y una vez que haya llegado a la altura mínima  $H_{min}$ , se cerrará la válvula de escape y se empezará a llenar otra vez, y así sucesivamente, según lo muestra la Figura 20. En realidad estas alturas máximas y mínimas van a ser medidas como presiones máximas y mínimas, ya que la medición es en base a la presión en el fondo del tanque. Algo muy importante de mencionar es que en el caso en donde se está vaciando el depósito no se debe perder la medición del volumen proveniente de  $Q_1$  por lo que se calculará este diferencial de volumen entrante en base al tiempo de retardo que sufre el sistema al vaciarse.

Figura 20: Diagrama de las variables del sistema de medición de volumen de condensado.



Donde:

$Q_1$  = Caudal entrante

$Q_2$  = Caudal de salida

$P_1$  = Presión en el fondo del tanque

$A_1$  = Área del fondo del tanque

$A_2$  = Área de la tubería de salida

$H_{max}$  = Altura máxima

$H_{min}$  = Altura mínima

En este caso la presión absoluta sobre el área del fondo del tanque está dada por:

presión =  $\rho gh$ , donde:

$\rho$  = densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$h$  = altura (m)

Una vez se haya medido la presión lo siguiente es despejar para la altura y determinar el volumen

$$V = h * A = P * A / (\rho * g)$$

Donde:

$P$  = presión registrada por el medidor

$A$  = es el área del fondo del depósito

Básicamente el tanque estará trabajando en dos modalidades distintas. La modalidad No.1. es cuando el tanque se encuentra llenándose y la modalidad No. 2. Comprende el lapso de tiempo en que se abre la válvula de escape y el tanque empieza a vaciarse.

Modalidad No.1. (Tanque llenándose)

Se considera un depósito cilíndrico que se encuentra llenándose.  $Q_2 = 0$ , debido a que la válvula de escape está cerrada. Y al principio  $P_1 = P_{atm}$ . Entonces  $Q_2(0) = 0$  y  $P_1(0) = P_{atm}$ . Se desea determinar el volumen total contenido en el depósito en cualquier momento  $t$ .

$$\frac{\Delta p}{\rho g} = \Delta h \quad \text{Ecuación 44}$$

---


$$\Delta V = \Delta h \pi r^2 = \Delta h A \quad \text{Ecuación 45}$$

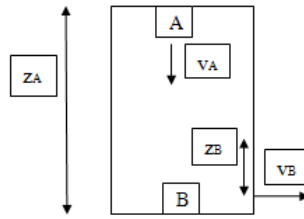
Entonces

Una vez se registre un  $H_{tot} = H_{max}$ , la válvula de escape se abre automáticamente y el depósito empieza a vaciarse.

Modalidad No.2. (Tanque vaciándose)

Se considera un tanque con  $V(0) = \text{Volumen máximo}$ . Se procede a abrir la válvula de escape y el agua empieza a salir a través de esta. Para este caso se utilizará la Ley de Torricelli, la cual describe el tiempo de vaciado de un tanque, donde la única fuerza influyente es la presión provocada por el peso de la columna que se encuentra sobre el agujero de escape .

Figura 21: Modelo para la derivación de la ley de Torricelli.



El sistema de Torricelli se muestra en la Figura 21, donde:

- A = Área transversal del tanque
- $V_A$  = Velocidad del líquido a través del tanque
- $Z_A$  = Altura total del tanque
- $Z_B$  = Altura del orificio
- $V_B$  = Velocidad del líquido al atravesar el área B.
- B = Área del orificio de escape del líquido.

Para llegar al teorema de Torricelli se parte de la ecuación de Benoulli:

$$\rho \left( \frac{v^2}{2} + \rho g z + p \right) = \text{constante}$$

Si disponemos  $p_A = p_B = p_0$ ,  $z_A = Z_A$  y  $v_A = 0$

Entonces la velocidad con que sale cada partícula de líquido a través del orificio en B es,

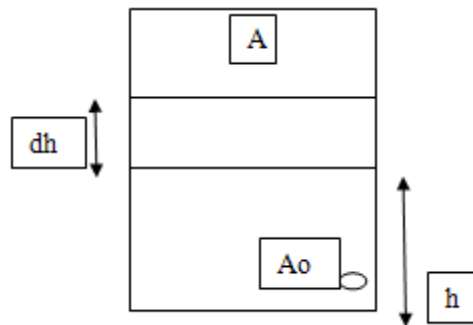
$$v_B = \sqrt{2g(Z_A - Z_B)}$$

Entonces la descarga de líquido a través del orificio en B está dada por:

$$Q = A_0 v_B$$

Teniendo una expresión teórica para la velocidad con que el agua estará saliendo del agujero de escape en el fondo del tanque se procede a determinar un sistema de ecuaciones que permita modelar el comportamiento del vaciado del tanque. En la Figura 22 se muestra un modelo matemático para este sistema.

Figura 22: Modelo para la ecuación diferencial que describe el vaciado de un tanque.



Donde:

$A_0$  = Área del agujero de escape.

A = Área del transversal del tanque

h = Altura del liquido con respecto al agujero de escape.

Entonces igualando los caudales:

$$\frac{A_0 \sqrt{2gh}}{4} = \frac{A \sqrt{2gh}}{4} \tag{Ecuación 46}$$

Para manejar la expresión anterior se deben hacer un conjunto de consideraciones validas para este caso en especial:

Se puede expresar el área de la sección del depósito como un área A constante debido a que el depósito no se deforma transversalmente.

El signo negativo en la ecuación anterior se debe a que h disminuye conforme el tiempo t crece.

El área del orificio A<sub>o</sub> es constante.

La pérdida de energía está dada por Cd (coeficiente de descarga)

Se cumple la Ley de Torricelli

El fluido no presenta resistencia a fluir, viscosidad = 0.

De la Ecuación 41 se resuelve para V en función del tiempo t por separación de variables. Expresamos la altura h en función del volumen.

$$\frac{dV}{dt} = -A_0 \sqrt{2gh} \tag{Ecuación 47}$$

Cada vez que el tanque se vacíe, y en el transcurso la trampa de vapor introduzca mas condensado en el interior del tanque, se puede calcular el volumen de condensado adicional a través del siguiente cálculo:

$$\dots \tag{Ecuación 48}$$

Si despejamos de la Ecuación 43 para el Tiempo de Vaciado quedaría:

$$\dots \tag{Ecuación 49}$$

Una expresión para el tiempo de llenado solo sería:

$$\dots$$

5. **Diseño del sistema de medición del flujo de alimentación:** Para calcular el flujo de alimentación se usará el mismo principio que en el caso del tanque de condensado

de vapor.

— —

Ecuación 50: Diferencial de altura

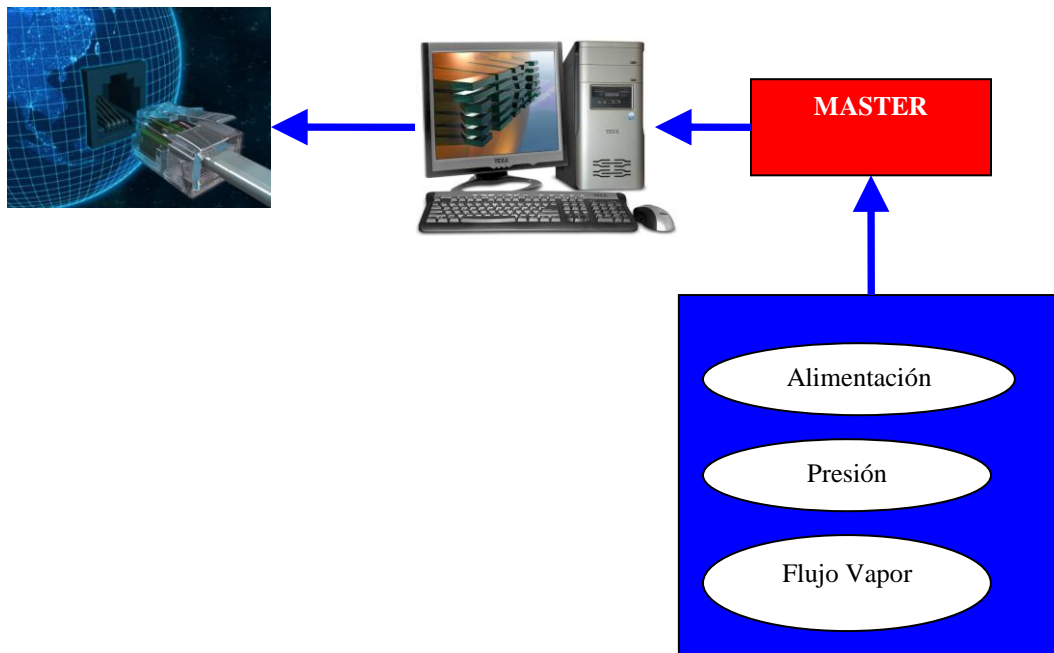
Luego como lo que interesa es el ritmo con que está cambiando el volumen dentro del tanque de alimentación se llega a la Ecuación 46.

— —

Ecuación 51: Diferencial de volumen.

6. Diseño de comunicación de los datos: La comunicación de los datos será a través del protocolo SPI, y el funcionamiento en general de dicha comunicación se presenta en la Figura 23.

Figura 23: Funcionamiento de la comunicación entre módulos.



La trama de datos que se estará enviando vía SPI es la mostrada en la Tabla 8.

Tabla 8: Trama de datos a enviar.

[FE]
[CRC]
[P1_LOW]
[P1_HIGH]
[P2_LOW]
[P2_HIGH]
[ROT_LOW]

Continuación Tabla 8: Trama de datos a enviar.

[ROT_HIGH]
[T1_LOW]
[T1_HIGH]
[CONTADOR]
[T2_LOW]
[T2_HIGH]
[CONTADOR2]
[FF]

En la Tabla 8 se incluye lo siguiente:

- Inicio de trama (FE)
- Resultado de la comprobación por redundancia cíclica (CRC)
- Parte menos significativa de los dos bytes que componen el dato de presión del último plato (P1\_LOW)
- Parte más significativa de los dos bytes que componen el dato de presión del último plato (P1\_HIGH)
- Parte menos significativa de los dos bytes que componen el dato de presión del primer plato (P2\_LOW)
- Parte más significativa de los dos bytes que componen el dato de presión del primer plato (P2\_HIGH)
- Parte menos significativa de los dos bytes que componen el dato de la lectura del rotámetro (ROT\_LOW)
- Parte más significativa de los dos bytes que componen el dato de la lectura del rotámetro (ROT\_HIGH)
- Parte menos significativa de los dos bytes que componen el dato del delta de tiempo registrado por el microcontrolador en la medición de volumen de condensado (T1\_LOW)
- Parte más significativa de los dos bytes que componen el dato del delta de tiempo registrado por el microcontrolador en la medición de volumen de condensado (T1\_HIGH)
- Contador del sistema de medición de vapor condensado (CONTADOR)
- Parte menos significativa de los dos bytes que componen el dato del delta de tiempo registrado por el microcontrolador en la medición de volumen de condensado (T2\_LOW)
- Parte más significativa de los dos bytes que componen el dato del delta de tiempo registrado por el microcontrolador en la medición de volumen de condensado (T2\_HIGH)
- Contador del sistema de medición de vapor condensado (CONTADOR2)
- Final de trama (FF)

La trama está compuesta por un total de 15 bytes, de los cuales 12 son bytes que contienen la información que se desea transmitir.

**7. Comunicación con los demás micro-controladores:** Éstas son las que se utilizan para comunicar micro-controladores (excepto el micro-controlador del selector inteligente que utiliza USART), en éstas se tiene cantidad prácticamente ilimitada de tamaños de tramas y se transmiten a través del protocolo SPI.

Aparte del protocolo SPI se necesita una forma de garantizar la validez de los datos (ya que estos pueden ser corrompidos durante la transmisión por factores como por ejemplo ruido eléctrico).

**8. Comunicación con micro-controlador de válvulas proporcionales:** El micro-controlador de válvulas proporcionales, maneja tres válvulas las cuales son: la válvula de vapor al calderín, la válvula de alimentación y la válvula de salida de producto.

**9. Comunicación con micro-controlador de válvulas solenoides:** El micro-controlador de válvulas solenoides maneja 26 válvulas solenoides y a la vez está encargado de llevar el control de las rutinas de tomas de muestras.

**10. Comunicación con micro-controlador de sensores:** El micro-controlador de sensores es una de las partes primordiales en los lazos de control, ya que este posee todos los sensores que retroalimentan al sistema de lazo cerrado. Por ello es vital su funcionamiento correcto y también su velocidad de respuesta.

En este controlador se sensa la presión de entrada de vapor al calderín, la presión dentro de la columna, el flujo de retroalimentación al primer plato, el volumen actual del tanque de alimentación, así como su gradiente de vaciado y el flujo de vapor de condensado de salida del calderín.

**11. Comunicación con micro-controlador de termopares:** Este micro-controlador tiene a cargo todos los sensores de temperatura (que contabilizan 13 en total) y la lectura del refractómetro.

**12. Comunicación externa:** Ésta se refiere a la comunicación entre el micro-controlador maestro y la computadora o SitePlayer. Para no tener necesidad de utilizar distintos protocolos para comunicar el micro-controlador maestro y los dos distintos equipos, se programó la aplicación de la computadora pensando que su protocolo de comunicación sea lo más similar posible al protocolo utilizado por SitePlayer. Gracias a esto, el micro-controlador no se tiene que preocupar de quien está recibiendo los datos y qué equipo está recibiendo los datos enviados.

Para lograr esto, se definió un tamaño máximo de 16 bytes por trama, donde sólo se tienen 11 bytes libres para datos. Los demás bytes son utilizados como encabezados (como muestra la tabla 2). Se toman 254 y 255 (en su representación decimal) como reservados para indicar el principio y fin de trama respectivamente

Tabla 9. Estructura de tramas externas utilizadas.

Inicio Trama	ID Proyecto	Total Tramas	# Trama	Datos	Fin Trama
254 (1 Byte)	1 Byte	1 Byte	1 Byte	D1 ... D11	255

Como se puede notar en la Tabla 9 el primer byte de cada trama es necesariamente 254, luego el código de identificación del proyecto (para la columna de destilación se asignó 4), el número total de tramas (en este proyecto se cuenta con 6 tramas), el número de trama que se está transmitiendo, espacio para once bytes de datos y el fin de trama que es necesariamente 255.

El orden de la información de cada trama se muestra en la Tabla 10 donde cada cuadro represente un byte.

Tabla 10: Orden y manejo de tramas externas.

	valvulas	valulas	sensores	termo 1	termo 2	refrac	volumen	otros
	Monitoreo	accion	Monitoreo	Monitoreo	Monitoreo	Monitoreo	Monitoreo	Monitoreo
	trama 0	trama 0	trama 1	trama 2	trama 3	trama 4	trama 5	trama 6
0	254	254	254	254	254	254	254	254
1	4	4	4	4	4	4	4	4
2	6	6	6	6	6	6	6	6
3	0	0	1	2	3	4	5	6
4	Switch	Switch	Pre1 L	plat 1 L	plat 6 L	ref[9],ref[10]	Tiempoalim L	ERROR CRITICO
5	control	control	Pre1 H	plat 1 H	plat 6 H	ref[11],ref[12]	Tiempoalim H	ERROR NO CRITICO
6	calor/presion	calor/presion	Pre2 L	plat 2 L	plat 7 L	ref[14],ref[15]	cont alim	ERROR USART
7	alimentacion	alimentacion	Pre2 H	plat 2 H	plat 7 H	ref[17],plato	volumen[0]	Lo(error_PID1)
8	reflujo	reflujo	Rot L	plat 3 L	plat 8 L	concentracion	volumen[1]	Lo(error_PID2)
9	val alimentacion	val alimentacion	Rot H	plat 3 H	plat 8 H	Sensor T1L	volumen[2]	Lo(error_PID3)
10	val reflujo	val reflujo	Tiempocond L	plat 4 L	plat 9 L	Sensor T1H	volumen[3]	Lo(error_PID4)
11	val vapor	val vapor	Tiempocond H	plat 4 H	plat 9 H	Sensor T2L	volumen[4]	veces S CRC
12	toma muestra	toma muestra	cont cond	plat 5 L	plat 10 L	Sensor T2H	pendiente	Veces T CRC
13	vals1-7	vals1-7	pendiente	plat 5 H	plat 10 H	Sensor T3L	pendiente	pendiente
14	val8-10	val8-10	pendiente	error term	pendiente	Sensor T3H	pendiente	pendiente
15	255	255	255	255	255	255	255	255
Ref Mem	0x00	0x70	0x10	0x20	0x30	0x40	0x50	0x60

Como ya se mencionó, el 254 y 255 son reservados, esto quiere decir que el único lugar que pueden estar estos valores es al principio y al final de cada trama; por lo que se diseñaron algoritmos para evitar estos valores en los datos.

### 13. Comunicación con SitePlayer: SitePlayer es un dispositivo electrónico, el cual permite

crear una página web y colocarla en una red Ethernet sobre la información que posee en su memoria interna. El gran aporte que tiene SitePlayer para este proyecto, es que se le puede escribir a sus localidades específicas de memoria a través de datos seriales. Esto permite poder colocar información que se maneja vía serial en una página HTML.

Como SitePlayer funciona por un mapeo a su memoria, cada dato se tiene que escribir en una localidad específica de memoria para evitar cualquier tipo de error de interpretación.

Se cuenta con una instrucción de escritura vía serial la cual es 0x8F, donde el 8 es la instrucción de escritura y F es el tamaño de la trama que se va escribir, en este caso 16 bytes. Utilizando 0x8F se pueden escribir una trama de 16 bytes a partir de una localidad específica hasta esa misma localidad más 16. Es decir, se envía 0x8F, luego la posición de memoria desde la cual se desea empezar a escribir y

seguidamente se envía la trama de 16 bytes. Después de un pequeño retraso de tiempo se pueden observar los nuevos datos en la página HTML.

También se cuenta; con una instrucción de lectura la que permite leer las posiciones de memoria y también cambios que ha hecho el usuario en la página HTML. La instrucción es 0xCF que al igual que la instrucción de lectura la F se refiere al tamaño de la trama. Para hacer una lectura de 16 bytes se envía 0xCF, luego se envía la posición de memoria desde la que se desea leer los datos. Después de un pequeño retraso de tiempo, se reciben los datos desde la dirección especificada hasta dicha dirección más 16 vía serial.

En la Tabla 8 se muestra el orden y manejo de las tramas externas, también se muestran las localidades de memoria donde se escriben y leen cada una de las tramas, cuando se está conectado con SitePlayer.

La escritura y lectura de datos se hace constantemente, de esta forma el usuario puede estar al tanto de lo que está sucediendo en la columna de destilación y puede actuar a los cambios hechos por el usuario remoto.

Esta comunicación posee un punto débil, ya que se leen constantemente las localidades de memoria, el micro-controlador maestro recibirá los valores deseados para cada una de las válvulas una y otra vez (cada lectura), en el caso de las válvulas no hay ningún problema, ya que se mantiene el valor ingresado por el usuario. El verdadero problema se encuentra cuando se desea tomar una muestra de alguno de los platos; inicialmente esta localidad de memoria se inicia con cero, es decir no se está tomando muestra, cuando el usuario desea tomar muestra de por ejemplo el plato cinco. El micro-controlador maestro lee esta trama y encuentra un cinco en la toma de muestra, automáticamente se toma una muestra del plato cinco, luego el micro-controlador maestro lee la trama y vuelve a leer cinco y se tomaría otra muestra del plato cinco aunque el usuario solo quería tomar una sola muestra.

**14. Comunicación con la computadora:** Como se mencionó, el micro-controlador maestro no distingue si se está comunicando con SitePlayer y/o la computadora, entonces la comunicación con la computadora es compatible al protocolo empleado para comunicar el micro-controlador maestro y Siteplayer.

Como se puede ver en la Tabla 9, en este proyecto solo hay una trama que se desea leer, esto hace que sea una única dirección de lectura. Entonces, cuando la aplicación detecta una instrucción de lectura en esta dirección de memoria, envía automáticamente la información que esta trama se envía vía serial desde la computadora al circuito.

En el caso de la escritura de nuevos datos hacia la aplicación, se aprovecha que se cuenta con palabras reservadas de inicio y fin de trama; cuando éstas se detectan se revisa el byte 4 de la trama (empezando a contar desde uno a partir de 254) que dice el número de trama, luego se procesa los datos y se despliegan al usuario.

**15. Micro-controlador, selector inteligente:** La necesidad de utilizar un selector inteligente, surge porque en una comunicación serial asíncrona, por lo general se cuenta con un cable donde se reciben datos (RX) y otro donde se transmite los datos (TX).

Para el caso del TX, se pueden obtener los datos sin mayores problemas, ya que son niveles de voltaje, entonces teniendo cuidado con las impedancias de entrada de cada uno de los sistemas que se desea que registren los datos disponibles en TX; por lo que no hay mayores dificultades para que ambos sistemas (la computadora y SitePlayer) escuchen los datos enviados por el micro-controlador maestro.

Para el caso de RX, como también se manejan niveles de voltaje no pueden estar ambos utilizando el canal de comunicación, ya que si fuese así; hay colisiones y existe la gran posibilidad que los datos lleguen dañados.

**16. Protocolo balanceado:** Inicialmente se había contemplado utilizar el protocolo RS-232 entre el micro-controlador maestro y la computadora, pero este tiene grandes problemas para los fines del proyecto, entre ellos se pueden mencionar la susceptibilidad al ruido y la distancia máxima del cable es de 8 metros a una tasa de transmisión de 9.6kHz.

Tomando en cuenta que cerca de la columna de destilación hay motores eléctricos y también la columna genera vapores los cuales son altamente dañinos para las computadoras, se tuvo que buscar un protocolo de comunicación que permitiera mayor distancia (para alejar la computadora a una distancia segura) y menor vulnerabilidad al ruido eléctrico (para evitar pérdida de datos la inducción de voltaje que producen los motores eléctricos en las líneas de transmisión de cobre).

**17. Interfaz de usuario:** En toda aplicación se desea hacer una interfaz ordenada, fácil de entender y funcional. El reto es hacer una aplicación con estas características tomando en cuenta la gran cantidad de válvulas y sensores que posee la columna de destilación. Además que sea capaz de manejar todos los distintos modos de operación deseados.

Otro reto fue lograr que el protocolo de comunicación entre el circuito y la aplicación fuera lo más parecido al utilizado con Siteplayer.

**18. Manejo automático de apagado y situaciones de emergencia:** Existen muchos factores que pueden ser críticos en una corrida de la columna de destilación. Tomando en cuenta que en su interior se están manejando grandes presiones y vapor de alcohol estos factores se ven aumentados y la necesidad de tener un equipo seguro es muy grande.

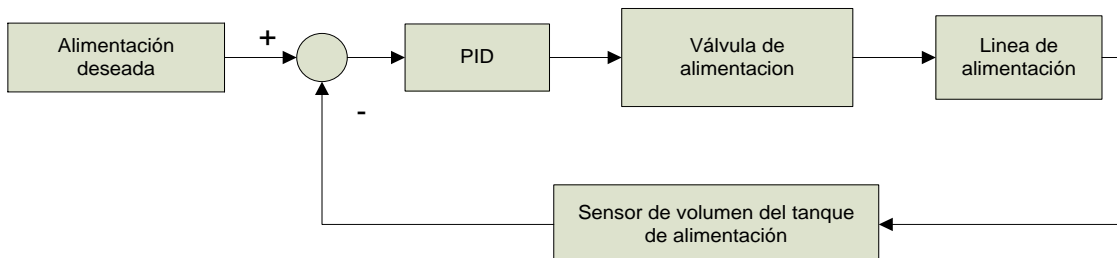
Entre estos factores críticos se pueden mencionar sobre presiones, sobre temperaturas, apagones del suministro eléctrico, errores serios en la comunicación de los micro-controladores, etc. Estos son suficientes motivos para prestarle mucha atención a la seguridad.

**19. Control:** Con base a los distintos modos de operación deseados (que se explican más adelante en esta sección), se diseñaron cuatro distintos lazos de control:

a. **Lazo de control en alimentación:** Éste controla la válvula proporcional de alimentación,

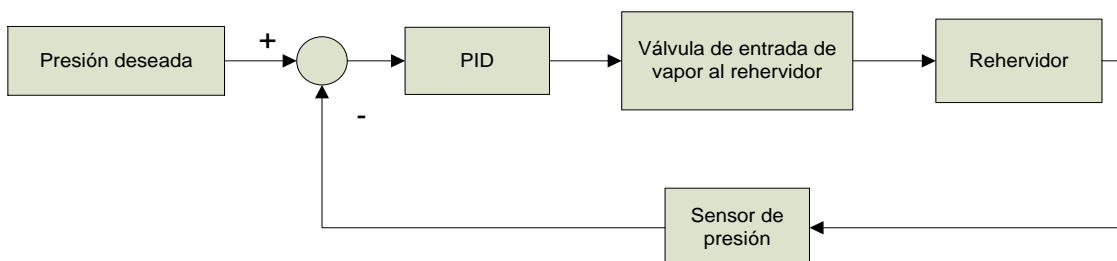
utilizando como sensor el medidor de volumen ubicado en el tanque de alimentación. Basándose de la velocidad de vaciado de este se puede calcular el flujo de ingreso de alimentación a la columna de destilación. Ver Figura 24.

Figura 24: Esquema general del control de flujo de alimentación.



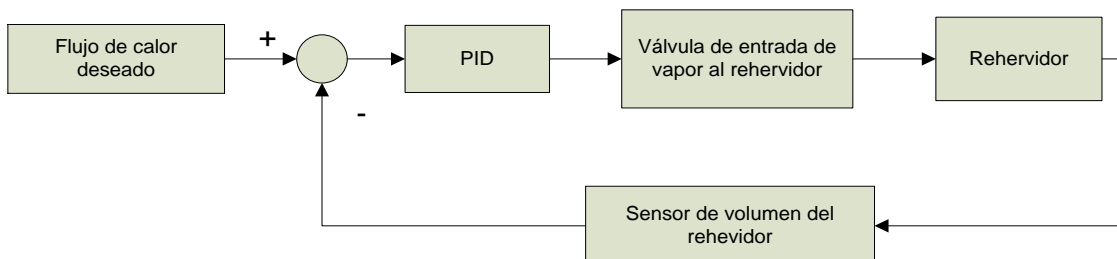
b. Lazo de control en presión de vapor del calderín: Éste controla la válvula proporcional de vapor de la entrada del calderín, utilizando como sensor el medidor de presión ubicado en la entrada de vapor del calderín. Ver Figura 25.

Figura 25. Esquema general del control de presión de vapor del calderín



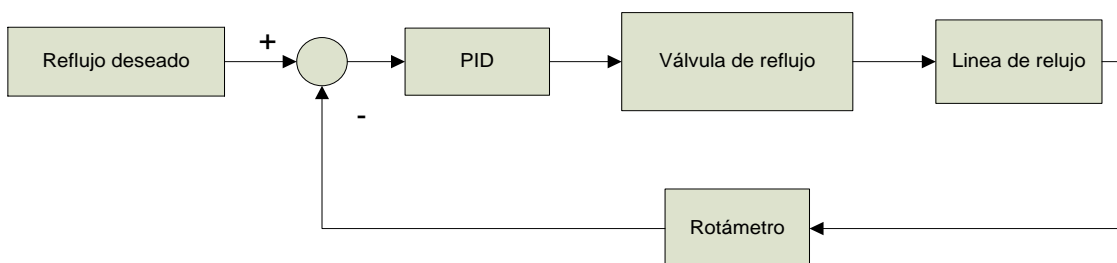
c. Lazo de control de flujo de calor de vapor al calderín: Éste controla la válvula proporcional de vapor de la entrada del calderín, utilizando como sensor el medidor de vapor condensado en la salida del calderín. Ver Figura 26.

Figura 26: Esquema general del control de presión de vapor del calderín.



d. Lazo de control de reflujo al primer plato: Éste controla la válvula proporcional reflujo ubicada en la línea de salida de producto, utilizando como sensor el rotámetro que se encuentra en la línea de reflujo al primer plato. En la Figura 27 se muestra el esquema general para este lazo de control

Figura 27: Esquema general del control de reflujo al primer plato.



## 20. Modos de operación: Existen dos grupos de diferentes modos de operación:

- Modo usuario.
- Modo automático.

### a. Modo usuario: Tomando en cuenta que la columna de destilación de la Universidad del

Valle de Guatemala está pensada con fines didácticos y de investigación, este modo permite al usuario gran libertad sobre las válvulas para poder observar de que manera cada diferente configuración afecta el desempeño de la columna. Pero el sistema es siempre capaz de detectar eventos o situaciones críticas y el sistema actúa automáticamente corrigiendo el error y apagándose automáticamente.

### b. Modo usuario sin lazos de control: En este modo el usuario puede modificar

todas las válvulas a su gusto, excepto la válvula de agua para enfriado del condensador la que actúa automáticamente cuando se detecta que va a empezar a fluir solución a través del condensado.

### c. Modo usuario con control en alimentación: En este modo el usuario puede

modificar todas las válvulas a su gusto, excepto la válvula de agua para enfriado del condensador y la válvula de control de alimentación la cual se coloca automáticamente para permitir un flujo de alimentación deseado por el usuario el cual se especifica a través de la aplicación.

### d. Modo usuario con control en presión de vapor del calderín: En este modo el

usuario puede modificar todas las válvulas a su gusto, excepto la válvula de agua para enfriado del condensador y la válvula de control de vapor al calderín, la cual se coloca automáticamente para trabajar con cierta presión de vapor, que se especifica a través de la aplicación.

Este modo de operación se puede utilizar en paralelo con el modo usuario con control en alimentación.

### e. Modo usuario con control de flujo de calor de vapor al calderín: En este modo

el usuario puede modificar todas las válvulas a su gusto, excepto la válvula de agua para enfriado del condensador y la válvula de control de vapor al hervidor, la cual se coloca automáticamente para permitir un flujo de calor deseado por el usuario que se especifica a través de la aplicación.

Este modo de operación se puede utilizar en paralelo con el modo usuario con control en alimentación

f. **Modos automáticos:** Estos fueron diseñados para que la columna de destilación actúe sin necesidad de intervención de un operario durante su proceso. Estos son capaces de lograr la concentración de salida deseada por el usuario variando automáticamente sus válvulas según los parámetros obtenidos por los sensores. Existen dos modos distintos de control automático:

- Modo automático por medio de alimentación
- Modo automático por medio del Batch

g. **Modo automático por medio de alimentación:** Este modo de operación es el más utilizado por las industrias ya que no se necesita detener el proceso para agregar más solución que se desea destilar. Al seleccionar este modo la aplicación calcula el calor requerido, el reflujo y el plato de alimentación para poder obtener la concentración deseada.

Si se selecciona este modo de operación, el usuario no puede cambiar el estado de ninguna válvula, excepto las involucradas en la toma de muestra. Todas las demás válvulas son colocadas automáticamente para llegar a la concentración deseada.

En este modo las válvulas se colocan automáticamente de la siguiente manera:

- Se abre la válvula en la línea del rotámetro.
- Se cierra la válvula de reflujo al primer plato.
- La válvula proporcional de alimentación se mueve automáticamente.
- La válvula proporcional de vapor del calderín se mueve automáticamente.
- Las válvulas de alimentación de los platos se colocan según el plato de alimentación requerido el cual es calculado por la aplicación.
- La válvula proporcional de salida de producto se mueve según el reflujo requerido.

h. **Modo automático por medio del Batch.:** Este modo de operación es poco utilizado por la industria ya que se necesita detener el proceso para agregar más solución que se desea destilar; esto se debe a que la solución se agrega al Batch, el cual durante el proceso tiene altas presiones y temperatura, esto hace poco práctico utilizar este modo a nivel industrial pero si es de gran utilidad para prácticas de laboratorio. Al seleccionar este modo la aplicación calcula el calor requerido, el reflujo y el plato de reflujo para poder obtener la concentración deseada.

Si se selecciona este modo de operación, el usuario no puede cambiar el estado de ninguna válvula, excepto las involucradas en la toma de muestra. Todas las demás válvulas son colocadas automáticamente para llegar a la concentración deseada.

En este modo las válvulas se colocan automáticamente de la siguiente manera:

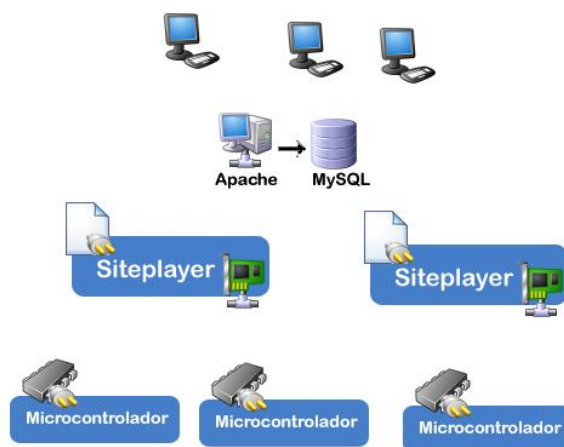
- Se cierra la válvula en la línea del rotámetro.
- Se abre la válvula de reflujo al primer plato
- La válvula proporcional de alimentación se cierra.

- La válvula proporcional de vapor del re hervidor se mueve automáticamente.
- Las válvulas de alimentación de los platos se colocan según el plato de reflujo requerido el cual es calculado por la aplicación.

## C. Módulo interfaz web para el monitoreo de variables y manejo a distancia de los sistemas automatizados

1. **Diseño general:** El requerimiento original del proyecto fue crear una aplicación que pudiera ser accesada concurrentemente por varios usuarios, que identificara a estos usuarios y que fuera capaz de comunicarse con un servidor web instalado inmerso en integrado. Además de aportar asesoría en lo que respecta computación, ya que en ese entonces los miembros del Megaproyecto carecían de alguien que estudiara computación.

Figura 18: Esquema general de Interfaz web



Dados los requerimientos se decidió desarrollar una aplicación en internet bajo el modelo cliente-servidor, esto por su característica de poder resolver peticiones concurrentemente. Otra característica que motivó al uso de páginas de internet es su capacidad de poder hacer peticiones hacia otros servidores, en este caso un siteplayer.

2. **Servidor Web:** En el mercado existe una variedad de servidores web que puedan resolver peticiones HTTP concurrentes, desde servidores aún en investigación, hasta servidores propietarios para los cuales es necesario comprar una licencia.

Evaluando los requerimientos de la aplicación se llegó a la conclusión que el servidor web debía de tener:

- Bajo costo (Gratis si es posible)
- Ser popular (Facilidad para encontrar documentación)
- Ser extensible

- Funcionar en Windows
- Capacidad de ejecutar código compilado o interpretado

La mejor opción encontrada fue Apache 2.0. Utiliza un licencia GPL (General Public Licence), y pertenece a la comunidad de código abierto. Su popularidad se ve demostrada en estadísticas donde se puede observar que el 70% de los sitios en internet son resueltos por servidores Apache.

Apache puede ser extendido mediante módulos, entre los cuales se encuentran leguajes de programación. Hay una gran variedad de módulos que pueden ser :

### 3. Herramientas: Para la realización de este trabajo de graduación se utilizaron las siguientes

herramientas:

- Apache
  - Como servidor HTTP
- MySQL
  - Como manejador de sistemas de base de datos relacionales
- SQL
  - Como lenguaje para manejar bases de datos
- Php
  - Como leguaje de programación interpretado para generar páginas HTML
- XML
  - Como lenguaje que describe el valor de los datos que llegan al siteplayer
- JavaScript
  - Como lenguaje de programación para manejar objeto dentro de un docuemto HTML
- Prototype
  - Como un Api, que genera código javascript, crossbrowser
- Joomla
  - Como un Manejador de contenido que provee un api para la extensión de funcionalidades
- XSLT
  - Como un lenguaje para realizar transformaciones a XMLs basados en plantillas recursivas
- Ajax
  - Como técnica para realizar peticiones al servidor de forma asíncrona y selectivo.

**4. Protocolos de comunicación:** En este proyecto se debían comunicar varios dispositivos y aplicaciones desarrollados por diferentes personas, en diferente momento. El uso de un protocolo estándar para establecer la comunicación es un requisito que todos los proyectos conectados a este sistema deben de cumplir.

Se tienen dos fases de comunicación, la primera es entre los microcontroladores y el siteplayer y la segunda es entre el siteplayer y las diferentes aplicaciones que manejen los dispositivos de forma remota.

a. **Protocolo Microcontroladores-Siteplayer:** Éste protocolo debe de ser implementado por todos los proyectos de electrónica que deseen ser monitoreados por este sistema.

Éste debe ser implementado sobre los estándares de RS-232.

Niveles de voltaje:

- 0(lógico) → -12 Volts
- 1(lógico) → 12 Volts

Tabla 11: Configuración del puerto serial para transmisión de datos.

Cantidad de bits por segundo	9600
Cantidad de bits en un dato	8
Paridad	Ninguna
Bit de Parada	1
Control de flujo	Ninguno

Para la comunicación se deben de utilizar dos instrucciones:

- Lectura
- Escritura

Éstas funciones trabajan con objetos tamaño máximo de 16 bytes, y debe de especificarse con un byte al principio el tipo de instrucción que se realizará. Esta instrucción debe de llevar sumada la cantidad de bytes que se desean indexar.

Tabla 12: Comandos a utilizarse para la lectura y escritura vía serial.

Comando	Byte de comando	Descripción
Read	C0h	Lee un objeto del siteplayer
ReadX	DOh	Lee ubicaciones de memoria utilizando 2 bytes de direccionamiento
Write	80h	Escribe un objeto en el siteplayer
WriteX	90h	Escribe en ubicaciones de memoria utilizando dos bytes de direccionamiento

Como un ejemplo de estas instrucciones se puede ver el siguiente:

8	1	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
E	F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6

En este ejemplo se muestra cómo se puede enviar 16 datos para ser escritos a partir de la posición 1Fh en memoria. La instrucción utilizada fue write cuyo código es 80h, sin embargo se envía 8E ya que se realiza la siguiente operación:

$$80h + \text{Cant. Bytes} - 1$$

La cantidad de direcciones que puede direccionar la instrucción write/read son 256 [0..255], y la cantidad de direcciones que pueden ser indexadas con la instrucción writex/write son 2FFh.

Estas tramas de datos deben de llevar cierta estructura para poder ser entendidas por el microcontrolador y así poder generar el documento XML correctamente. Debido a que estas instrucciones accesan directamente a memoria EEPROM, no se hace ningún chequeo o validación que determine si las tramas recibidas se apegan a este protocolo. Este protocolo está definido de la siguiente forma:

Tabla 13: Estructura de una trama para comunicación serial.

Inicio Trama	ID Proyecto	Total Tramas	# Trama	Datos	Fin Trama
254 (1 Byte)	1 Byte	1 Byte	1 Byte	D1 ... D11	255

b. **Protocolo Siteplayer-SitioWeb:** El siteplayer responde a peticiones de HTTP

1.0, no resuelve peticiones concurrentes ni documentos HTTP con múltiples elementos. Cuando llega una petición al siteplayer, éste genera un documento HTTP/Text y es enviado al cliente que haya hecho la petición.

El documento que se genera es un documento XML sin ningún tipo de encoding, esto se debe a que al definir una codificación específica los datos se ven corrompidos por los medios de acceso.

El Xml resuelto lleva la siguiente estructura:

```
<xml>
  <dato1> dato </dato1>
  <dato2> dato </dato2>
  ...
  ...
  <datoN> dato </datoN>
</xml>
```

La cantidad de datos que son recibidos son múltiplos de dieciséis, y lleva la misma estructura que el protocolo que se envía por serial.

6. **Base de datos:** En este proyecto era necesario utilizar un repositorio de datos, no sólo por su carácter de página dinámica sino, porque necesitamos almacenar toda la información referente a los proyectos.

a. **DBMS:** El DBMS, database management system, es el sistema de base datos que se utilizará. En el mercado existen varios tipos de DBMS, y su elección se basa en el tipo de requerimientos que se tienen en el sistema. Usualmente para la elección de un DBMS se deben hacer las siguientes preguntas:

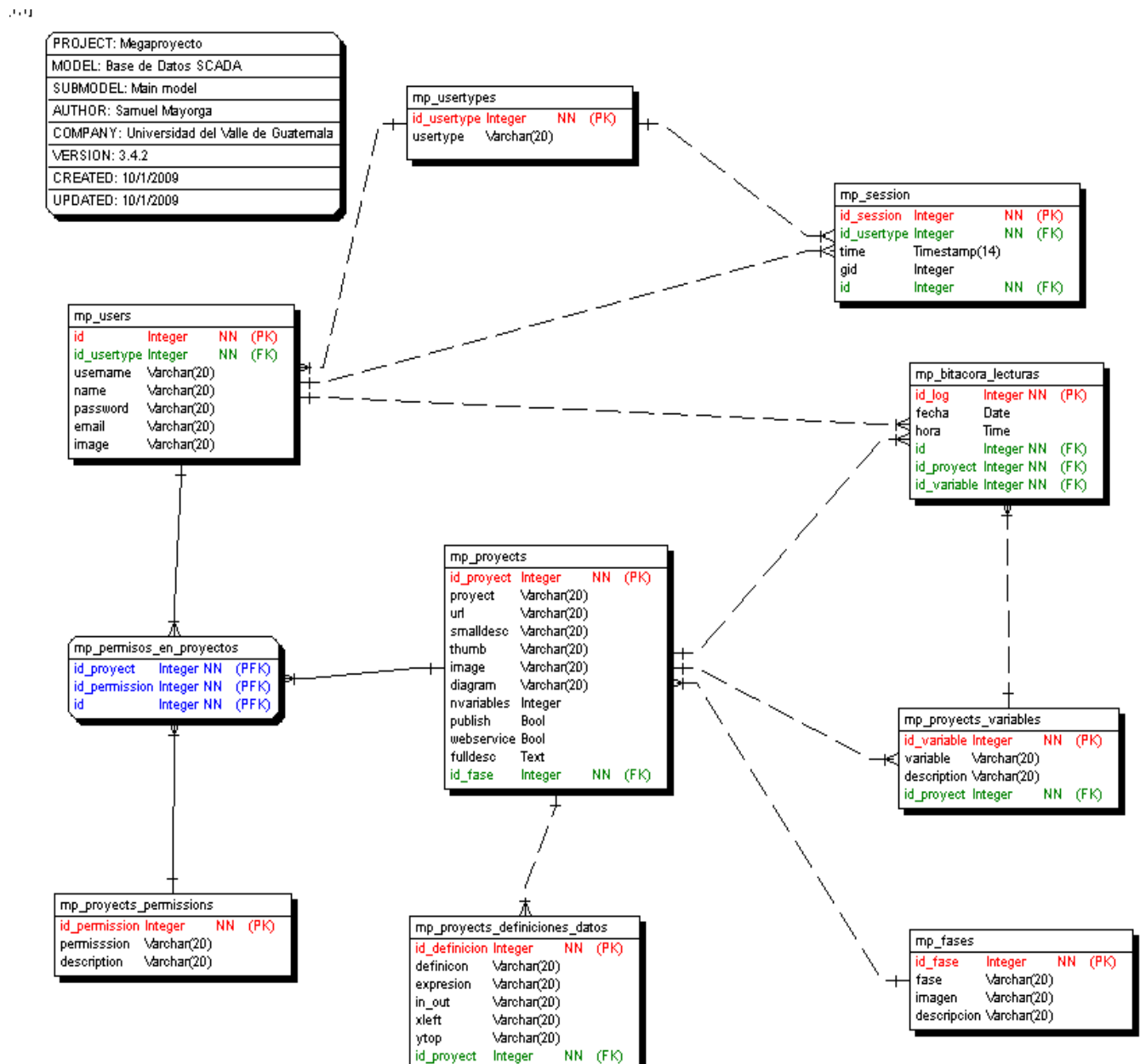
- ¿Qué tanta información se planea almacenar?
- ¿Qué tipo de datos se planea almacenar?
- ¿En qué lenguaje se programará la aplicación?
- ¿Qué tan seguido se hacen cambios o ingresos en la base de datos?
- ¿Cuántos usuarios accesan al sistema simultáneamente?
- ¿Está la base de datos siempre disponible?
- ¿Cuánto es el presupuesto disponible?

Se tomó la decisión de escoger MySQL 5.0. Algunas de las razones por las que se tomó esta decisión fueron:

- Licencia GNU/GPL
- Uno de sus usuarios destacados es Joomla!, el CMS que se está utilizando
- Funciona en Windows
- Es relacional
- La aplicación web de este trabajo de graduación, no es tan grande

b. **Diseño de base de datos:** Se realizó un esquema de base de datos relacional y normalizado. Se utilizaron diez tablas con tecnología de almacenamiento INNODB. A continuación se muestra el diagrama de entidad relación de dichas tablas.

Figura 29: Diagrama entidad relación de las tablas utilizadas en la base de datos de la aplicación.



**7. Sitio Web:** El sitio web que se desarrolló en este trabajo de graduación tomó como referencia

inicial un manejador de contenido de código abierto muy conocido llamado Joomla!. Este manejador provee de una interfaz de programación de aplicación (API), con lo cual es sencillo expandir sus funcionalidades.

El esquema de Joomla está basado en la creación de dos tipos de objetos:

- Módulos
- Componentes

Su característica principal consiste en que los componentes proveen un grado alto de funcionalidad y se muestra únicamente uno a la vez en la página. Por el contrario los módulos proveen pequeñas funcionalidades y varios de estos pueden mostrarse simultáneamente en el sitio.

Cada módulo o componente nuevo debe ser agregado a la base de datos. Joomla! provee de una interfaz para administradores de la página donde se facilita esta tarea. La forma de entrar a esta interfaz es escribiendo en el URL:

[http://URL del sitio/administrator](http://URL_del_sitio/administrator)

Donde el URL\_del\_sitio se refiere a la dirección que apuntará hacia el servidor donde se coloque el presente trabajo de graduación.

a. **Diseño gráfico del sitio:** Siguiendo los estándares de la W3C, organización encargada de proveer los estándares para el diseño de páginas web, se desarrolló la plantilla utilizada. Estos estándares pueden verse listados en el siguiente sitio web:

<http://www.w3.org/TR/#Recommendations>

Bajo este estándar se definió un conjunto de elementos HTML, a los cuales se les aplica un conjunto de reglas de estilo CSS. Estas normas prevalecen en todas las páginas generadas dentro del sitio.

El 90% de los elementos creados son XHTML, es decir están dentro del conjunto estándar de elementos de HTML. La razón por la cual no fue posible crear un sitio 100% válido en XHTML, fue por el uso de algunos atributos no definidos por la W3C. Estos atributos fueron imprescindibles para identificar elementos en el DOM desde código javascript.

Figura 30: Diseño de la página inicial de la aplicación web.

b. **Manejo de usuarios:** La finalidad de este componente es poder identificar a cada usuario que ingresa al sistema. El sitio web muestra cierta información general a usuarios que aún no se hayan identificado, sin embargo promueve el ingreso de los usuarios a una región privada donde los elementos que se muestran son mucho más personalizados.

Figura 31: Página para el ingreso y registro de usuarios.

Al ingresar a este componente se muestra una página donde se solicita el nombre de usuario y contraseña. Si se algún usuario se equivoca tres veces en escribir su contraseña el sistema bloqueará temporalmente al usuario por aproximadamente diez minutos.

Si un usuario no recuerda su contraseña, puede ingresar a una opción colocada en la parte inferior izquierda llamada Recuperar Contraseña donde se le solicitará el nombre de usuario y el correo electrónico que ingreso al solicitar su inscripción en el sistema. El sistema le enviará a su correo electrónico la contraseña.

Todo usuario debe llenar un formulario de inscripción en el sistema donde se requiere que ingrese la siguiente información:

- Nombre
- Nombre de usuarios (este debe de ser único en el sistema)
- Correo electrónico
- Contraseña

Figura 32: Formulario de inscripción en el sistema.

El sistema maneja dos esquemas de seguridad. Uno por usuario perpetuo, donde todo usuario al ingresar tiene cierta categoría y ciertos permisos. El otro esquema basado en una lista de control de accesos (ACL), sirve para poder modificar con mayor frecuencia las funcionalidades a las que un usuario tiene acceso.

Tabla 14: Tipos de usuarios en el sistema.

Tipo de Usuario	Permisos
Superadministrador	Es permitido acceder a todas las funcionalidades y modificar cualquier configuración del sitio
Administrador	Es permitido acceder a todas las funcionalidades

Continuación Tabla 14

Usuario Común	
Monitorear	Es permitido ver cuáles son los valores de las lecturas de todos los sensores
Monitoreo continuo	Es permitido configurar un modulo para revisar y dejar constancia de las lecturas de todos los sensores
Mando a distancia	Es permitido ver todos los sensores y controlar actuadores
Mando a distancia y monitoreo continuo	Es permitido ver sensores, controlar actuadores y configurar un modulo para realizar lecturas cada cierto tiempo
Administrador del proyecto	Es permitido realizar cualquier cambio en la configuración

Los sub-permisos del usuario común se relacionan mediante una tabla de cruce con uno o más proyectos en el sistema. Es decir un usuario puede ser administrador del proyecto Torre de destilación, pero puede tener permiso únicamente de monitorear el proyecto de Reactores Fermentadores.

El permiso de Administrador del proyecto, puede ser únicamente asignado por un Súper Administrador o un Administrador, por el contrario un todos los demás permisos pueden ser otorgados por los permisos pueden ser dados por Administradores, Súper Administradores y Administradores de proyectos.

c. **Proyectos:** Se le denomina proyecto, dentro del sitio, a todo sistema independiente de automatización que se realice en el laboratorio de operaciones unitarias. Estos proyectos deben de apegarse a todos los protocolos de comunicación descritos en este trabajo para su correcto funcionamiento.

La configuración de los proyectos se realiza dentro del componente de Administrador. Todo proyecto debe agregarse por un administrador, para hacer esto debe de ingresar a la página de administración.

Figura 33: Panel de administración de proyectos.



Para agregar un proyecto se debe seleccionar la opción de Agregar Nuevo Proyecto, y allí ingresar la información que se le pide. Esta información servirá para referirse al proyecto en el resto de la página y para configurar algunos aspectos técnicos que necesite el proyecto. A continuación se detalla cada campo del formulario:

- Nombre del proyecto
  - Nombre con el que se identificará el proyecto dentro del sitio
- URL SitePlayer
  - URL o dirección Ip donde se encuentra el XML del proyecto. Usualmente el host 250 de la red donde se encuentra el siteplayer.
- Cantidad de variables
  - Cantidad total de datos que se transmitirán entre el siteplayer y los microcontroladores del proyecto. Esta cantidad está libre de todos los bytes de control en el protocolo de comunicación.
  - Ejemplo:
    - Una trama debe tener 5 bytes de control obligatoriamente (Ver Protocolo de comunicación Microcontrolador-Siteplayer) el resto de valores son datos. Suponiendo 5 tramas de tamaño 16, la cantidad de variables será:
      - $5_{\text{tramas}} * (16_{\text{tamaño\_trama}} - 5_{\text{bytes\_control}}) = 55_{\text{variables}}$
- Publicado
  - Campo que habilita el uso público del proyecto. Si un proyecto aún no ha sido completamente configurado y probado debe permanecer despublicado.

- Generar Web Service
  - Si este campo se define como verdadero, el proyecto generará código que habilite una puerta de acceso para aplicaciones externas que deseen conectarse al proyecto. (Ver WebServices)
- Imagen
  - Imagen del proyecto dentro del sitio. Esta imagen puede ser seleccionada entre un conjunto de imágenes predefinidas o bien puede ser ingresada por el usuario.
- Ícono
  - Imagen de menor tamaño que también identifica al proyecto dentro del sitio. Esta imagen puede ser generada a partir de la imagen del proyecto o bien puede ser ingresada por el usuario.
- Diagrama
  - Esta imagen representa al diagrama del proyecto. Se utiliza como base para el panel de control del proyecto (Ver Panel de control). Debe de ser el esquemático del proyecto y preferiblemente una imagen de cómo se ve la aplicación local que maneja el proyecto.
- Descripción pequeña
  - Descripción corta que describa el propósito del proyecto, no más de 200 caracteres.
- Descripción completa
  - Descripción completa del proyecto, puede ser ingresada en formato HTML.

Figura 34: Formulario de ingreso de nuevos proyectos.

### AGREGAR NUEVO PROYECTO

Para agregar un nuevo proyecto debe de completar los siguientes campos.  
Los campos marcados con (\*) son obligatorios.

Nombre del proyecto *	<input type="text"/>
URL SitePlayer *	<input type="text"/>
Cantidad de Variables *	<input type="text"/>
Publicado	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
Generar Web Service	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No

**Imagen**  
Puede escoger cualquiera de estas imagenes,









o bien, cargar alguna imagen

**Icono**  
Puede decidir entre:

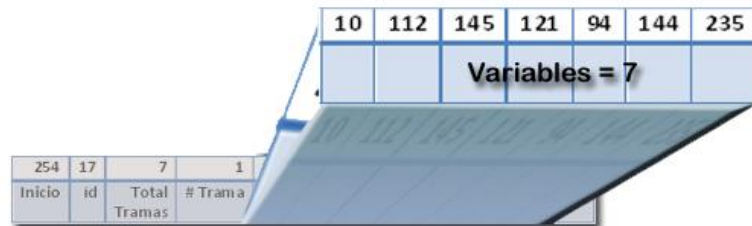
Generar icono (a partir de imagen)

Cargar una nueva imagen icono

**Diagrama \***  
Imagen que se desplegará como fondo de panel de control

- d. **Variables:** Las variables del proyecto representan la información que se desea transmitir y recibir de los diferentes proyectos.

Figura 35: Posición de las variables dentro de una trama serial.



Del protocolo siteplayer-microcontroladores son todos los bytes de datos de las tramas. Si el proyecto envía más de una trama, todas se unen y se configuran dentro de esta opción.

Figura 36: Forma para ingreso, modificación y supresión de variables de un proyecto.

### VARIABLES DE TORRE EMPACADA

[REGRESAR A MENU PRINCIPAL](#)

Número	Variable	Descripción	Opciones
1	<input type="text" value="Dato1"/>	<input type="text" value="Descripcion de dato1"/>	Guardar   Eliminar
2	<input type="text" value="Temp1"/>	<input type="text" value="Temperatura en la torre"/>	Guardar   Eliminar
3	<input type="text" value="Dato3"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
4	<input type="text" value="Dato4"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
5	<input type="text" value="Dato5"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
6	<input type="text" value="Dato6"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
7	<input type="text" value="Dato7"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
8	<input type="text" value="Dato8"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
9	<input type="text" value="Dato9"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
10	<input type="text" value="Dato10"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
11	<input type="text" value="Dato11"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
12	<input type="text" value="Dato12"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar
13	<input type="text" value="Dato13"/>	<input type="text"/>	Guardar   Eliminar

Inicialmente se genera un número de variables igual al configurado cuando se creó el proyecto, sin embargo esta cantidad puede ser modificada por los Administradores del Proyecto.

Para mayor claridad en el uso de la aplicación, se debe describir cada variable ingresando:

- Nombre de la variable
  - Qué representa la variable
- Descripción de la variable
  - Para que es utilizada y de donde proviene

e. **Datos:** Los datos representan información que se desea compartir con los usuarios.

Aunque están muy relacionados con las variables, no son precisamente lo mismo.

Los datos, como primera diferencia, tienen dirección, es decir podemos decidir si queremos que los usuarios vean los datos o los envíen al siteplayer.

La segunda diferencia es que los datos son pre-procesados basándose en transformaciones matemáticas antes descritas. Estas transformaciones son los que define a un dato.

La definición más simple de un dato es una variable, ya que en este caso no se necesita de ninguna transformación. Sin embargo se pueden crear transformaciones mucho más complicadas (Ver transformaciones de datos).

Figura 37: Forma para definir datos y sus transformaciones.

## Torre Empacada

A continuación se muestran todas las definiciones de datos en el proyecto Torre Empacada. Estas definiciones de datos procesados, es decir es información 100% lista para presentarse. En esta sección se procede a definir cuales van a ser las operaciones que se efectuarán sobre las variables para poder producir datos 100% procesados.

AGREGAR NUEVA DEFINICION

GUARDAR DEFINICION

(	)	%	int	->	nbl	stl	shr
^	^2	^3	shr	+/	concat	/	
sin	cos	tan	csc	7	8	9	*
csc	sec	cotan	log	4	5	6	-
ln	asin	acos	atan	1	2	3	+
pi	e	2r	r	0	.		
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	

VARIABLES DE ENTRADA			
#	Definición	Expresión	Opciones
1	suma	X1+40	Eliminar
...	...	...	...

Las definiciones de datos se escriben como una fórmula matemática donde se pueden utilizar operadores o funciones matemáticas. El conjunto de datos con el que trabajan son todos los reales y pueden contener cualquier combinación de variables (ver Variables) o definiciones de datos ya ingresadas.

f. **Transformaciones de datos:** Para poder operar estas transformaciones fue necesario crear un analizador léxico y sintáctico. Su principal propósito es poder generar un árbol sintáctico que pueda ser fácilmente recorrido para resultar con un valor final.

Lo primero que se hizo es generar una gramática libre del contexto capaz de describir todas las posibles expresiones válidas.

Tabla 15: Gramática utilizada para el análisis de expresiones.

Regla	Producción
<code>&lt;expression&gt; ::=</code>	<code>&lt;expresión_simple&gt;   &lt;expresión_simple&gt; &lt;expresión&gt;</code>
<code>&lt;expresión_simple&gt; ::=</code>	<code>&lt;expresión_matematica&gt;   &lt;función_matematica&gt;</code>
<code>&lt;expresion_matematica&gt; ::=</code>	<code>&lt;expresión_variables&gt; &lt;operador&gt;   &lt;expresión_numeros&gt; &lt;operador&gt;   &lt;operador_unario&gt; &lt;expresión_matematica&gt;</code>
<code>&lt;expresión_variables&gt; ::=</code>	<code>“(“ &lt;variable&gt; “)”   &lt;variable&gt;   “(“ &lt;variable&gt; &lt;expresión_matematica&gt; ”)”   &lt;variable&gt; &lt;expresión_matematica&gt;</code>
<code>&lt;expresión_numeros&gt; ::=</code>	<code>&lt;numeros&gt;   &lt;numeros&gt; &lt;expresión_matematica&gt;</code>
<code>&lt;operador&gt; ::=</code>	<code>“+”   “-”   “*”   “/”   “%”   “^”   “shr”   “shl”   “nbl”   “→”   “\$”</code>
<code>&lt;operador_unario&gt; ::=</code>	<code>“-”</code>
<code>&lt;función_matematica&gt; ::=</code>	<code>&lt;función&gt; “(“ &lt;expresión_simple&gt; ”)”</code>
<code>&lt;función&gt; ::=</code>	<code>“sin”   “cos”   “tan”   “atan”   “acos”   “asin”   csc”   “ctn”   “sec”   “sinh”   “cosh”   “tanh”   “log”   “ln”   “int”</code>
<code>&lt;números&gt; ::=</code>	<code>&lt;numero&gt;   &lt;numero&gt; &lt;números&gt;</code>
<code>&lt;numero&gt; ::=</code>	<code>&lt;digito&gt;   &lt;digito&gt; “.” &lt;digito&gt;</code>
<code>&lt;digito&gt; ::=</code>	<code>“0”   “1”   “2”   “3”   “4”   “5”   “6”   “7”   “8”   “9”   “pi”   “e”</code>
<code>&lt;variable&gt; ::=</code>	<code>“X” &lt;numero&gt;</code>

Para cumplir con algunos requerimientos de miembros de este megaproyecto se extendieron los operadores a los siguientes:

Tabla 16: Operadores disponibles para la creación de definiciones de datos.

Operador	Descripción
+	Suma
-	Resta
*	Multiplicación

Continuación Tabla 16

Operador	Descripción
/	División
%	Módulo de la división
Shr	Desplazar bits hacia la derecha
Shl	Desplazar bits hacia la izquierda
\$	Concatenar números
→	Extraer bit
Nbl	Extraer nibble
Int	Convertir a entero

g. **Conexión a SitePlayer:** La conexión al siteplayer se realizó utilizando una función de javascript llamada HttpRequest. Esta función es la base de la técnica Ajax, la cual provee funcionalidades para obtener el contenido de una página de forma asíncrona.

Php provee de varios métodos para poder leer un archivo en un servidor remoto. Sin embargo todos estos métodos están diseñados para obtener documentos con una determinada codificación.

Se utilizó el siguiente código para poder leer los documentos del siteplayer: Esta función utiliza un módulo externo de php (Curl), el cual no está disponible para ningún otro servidor web que no sea Apache. Para la utilización de este módulo se debe de reconfigurar el archivo de configuración de php para que trabaje con este módulo.

```
private function curl_get_file_contents($URL)
{
    $c = curl_init();
    curl_setopt($c, CURLOPT_RETURNTRANSFER, 1);
    curl_setopt($c, CURLOPT_URL, $URL);
    $contents = curl_exec($c);
    curl_close($c);

    if ($contents) return $contents;
    else return FALSE;
}
```

Esta función devuelve un archivo el cual internamente convertido a un documento xml. Un procesador de XMLs, llamado XSLT, convierte el xml leído en un documento con una mejor estructura para que coincida con el esquema definido dentro del analizador sintáctico.

Luego de este pre-procesamiento, se resultó con un documento xml donde se presenta únicamente el valor de los datos de información que acarreaban las tramas de información. Así mismo en este punto se

comprueba que los datos no vengán corrompidos, chequeando si la información disponible concuerda con el protocolo definido.

**h. Panel de control:** El panel de control funge la tarea de un programa de HMI en línea. Su utilización es útil para poder visualizar lo que está pasando dentro del laboratorio de operaciones unitarias.

El panel de control debe de ser configurado por el Administrador de cada proyecto. La configuración consiste en colocar de forma gráfica elementos donde en el panel de control público se mostrarán los valores de los datos.

Este panel de control es visualizado por los usuarios, donde de forma dinámica se actualiza el valor de los datos que fueron configurados para presentarse. Esta actualización es realizada de forma asíncrona mediante peticiones directas al siteplayer y evaluadas antes de ser desplegadas.

**7 .Web Services:** Los servicios web son la puerta de enlace entre esta aplicación y aplicaciones externas creadas fuera del ámbito de este trabajo de graduación. Estos servicios consisten en un conjunto de funciones que pueden ser instanciadas en una aplicación externa, pero son ejecutadas en el servidor donde estén instaladas.

Estas características logran abstraer la complejidad de trabajar directamente con la base de datos o el siteplayer y además provee seguridad, ya que dentro de estas funciones se puede regular las operaciones que se realiza con los repositorios de información.

Los servicios web fueron inicialmente creados en ASP .NET. La razón por la cual se decidió este cambio de lenguaje fue su conjunto expandido de tipos de datos que se pueden transmitir. Por ejemplo se pueden enviar estructuras de datos que son compatibles con muchos de los lenguajes en los que usualmente se realizarán las aplicaciones externas. Por el contrario el conjunto de tipos de datos con los que php trabaja es mucho más reducido.

Sin embargo, no fue posible conectar ASP con el siteplayer por lo que se decidió crear el web-service en PHP.

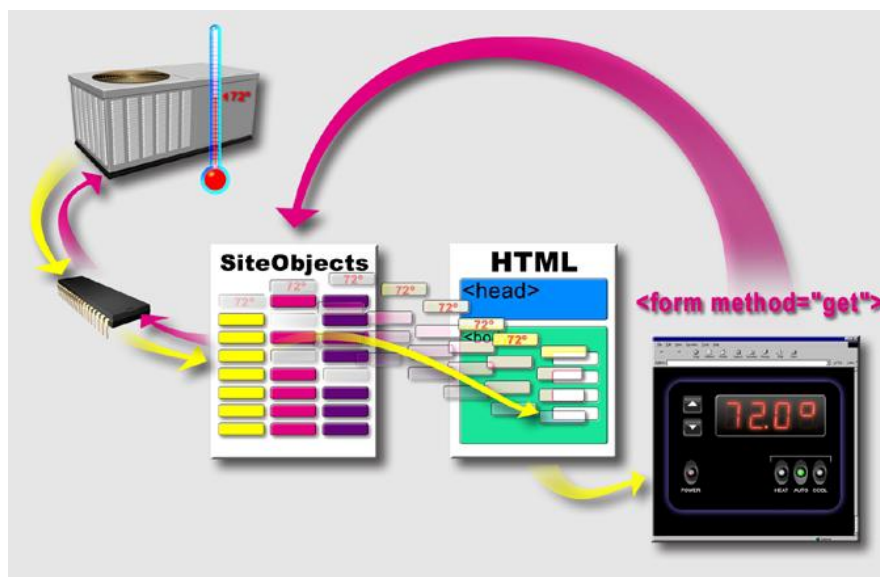
**8. Siteplayer:** El siteplayer fue utilizado como medio para interfazar los microcontroladores y las aplicaciones que controlen a los mismos. El siteplayer también es un microcontrolador el cual tiene dos interfaces una serial y una Ethernet.

Este aparato provee un servidor web que maneja protocolos de Ethernet y de forma independiente maneja su memoria interna.

**a. Utilización de siteplayer:** El siteplayer trabaja con unos objetos denominados SiteObjects, los cuales admiten texto, imágenes, música o hipervínculos. Estos objetos relacionan código html y ubicaciones específicas de memoria.

Los datos fluyen a través del siteplayer a través de dos canales de información. Estos canales bidireccionales, trabajan de forma independiente teniendo como punto en común la resolución de estos SiteObject.

Figura 38: Flujo de datos trabajando con un siteplayer.



Estos SiteObjects son definidos en un archivo el cual debe ser grabado en la memoria ROM del siteplayer. Este archivo de definición de siteplayer (\*.spd), contiene la información de configuración y la forma de mapeo de memoria que se utilizará.

Tabla 17: Archivo de configuración del siteplayer.

;
; These are initial variables that you can place in your system
;
;\$Devicename sets the name or description of the device
\$Devicename "Megaproyecto 2009, Operaciones Unitarias"
;
;\$DHCP on sets SitePlayer to find its IP address from a DHCP server
\$DHCP on
;
;\$DownloadPassword sets password for downloading web pages and firmware
;
\$DownloadPassword ""
;
;\$InitialIP sets SitePlayer's IP address to use if no DHCP server is available
\$InitialIP "192.168.1.250"
;
;\$PostIRQ on sets SitePlayer to generate a low level IRQ on pin 11

Continuación Tabla 17

\$PostIRQ off
;\$Sitefile sets the binary image filename that will be created
\$Sitefile "C:\sites\newmega\SitePlayer\proyect.spb"
;\$Sitepath sets the root path of the web pages for this project
\$Sitepath "C:\sites\newmega\SitePlayer\html"
;\$Include sets the name of a file to include during make process
\$Include "C:\sites\newmega\SitePlayer\pcadef.inc"
\$Include "C:\sites\newmega\SitePlayer\udpsend_def.inc"

b. Manejo de memoria: La memoria del siteplayer está dividida de la siguiente manera:

Tabla 18: Mapeo de memoria dentro del Siteplayer.

SitePlayer Object Memory Map	
Address	Description
0000h	Regular objects addressable with one or two byte addresses
02DFh	02D0h – 02DFh can also be UPDsend objects (see table)
02E0h	Bit objects addressed with one byte bit addresses, or regular objects with two byte addresses
02FFh	
0FF00h	Special SitePlayer Functions (see table)
0FFFFh	

Como se puede ver en la Tabla 18, los objetos pueden estar ubicados dentro el rango [00h-2FFh]. Toda escritura o lectura ya sea por medio de Ethernet o serial debe de estar indexada dentro de este rango.

Las operaciones de lectura o escritura desde Ethernet, debe de hacerse por medio de los SiteObjets, los cuales están definidos dentro del (\*.spd). Los objetos se definen de la siguiente manera:

```
org 0h
dato1 db 1      ;dato1
dato2 db 2      ;dato2
```

c. Creación de pagina XML: Luego del correcto mapeo de memoria, resulta sencillo la

creación de la página web. Esta se escribe como una página web normal, sin embargo cuando el servidor contesta las peticiones traduce todos los SiteObjects por el valor ocupado por su dirección de memoria.

La página web que se contesta no contiene etiquetas definidas en HTML por lo que se considerará que el documento disponible en el siteplayer es un XML. El código fuente de la página contiene la siguiente estructura.

```
<xml>
  <dato1>^dato1</dato1>
  <dato2>^dato2</dato2>
  ...
</xml>
```

## **D. Módulo planificación y presupuesto**

El desarrollo del módulo de planificación se dividió en tres etapas en los 18 meses de trabajo: Conformación de Megaproyecto, planificación y finalización y presentación de resultados.

### **Etapas 1: Conformación de Megaproyecto**

1. Organización del Megaproyecto por módulos descritos en un diagrama de bloques.
2. Diseño de imagen del Megaproyecto, así como publicidad preliminar para la presentación del mismo en ferias científicas.
3. Elaboración de fichas presupuestarias para establecer los fondos necesarios para cumplir los objetivos del Megaproyecto.

### **Etapas 2: Planificación**

4. Elaboración de cronogramas semestrales de las actividades de cada uno de los módulos y submódulos del Megaproyecto. Adicional a esto se identificaron aquellas actividades y eventos críticos. Como apoyo se investigaron teoría de planificación de proyectos y el uso de programas, principalmente Microsoft Project.
5. Manejo de cotizaciones con los departamentos de Ingeniería Química, Ingeniería Electrónica y el departamento de Compras de UVG. Dándole seguimiento a las compras de equipo desde su cotización hasta la entrega del proveedor a la universidad.
6. Conformación de la fase III del Megaproyecto de automatización, definiendo nuevo grupo multidisciplinario de trabajo y proyecto a desarrollar, así como los objetivos del mismo.
7. Transición de roles a nuevo estudiante de Ingeniería Industrial para el desarrollo del módulo de planificación de la fase III del Megaproyecto de automatización.

### **Etapas 3: Finalización y presentación de resultados**

8. Compra y seguimiento de últimos pedidos para completar el equipo necesario a instalar en el laboratorio de operaciones unitarias.
9. Cálculo del costo total del Megaproyecto, contemplando cada pieza y equipo instalado, así como el tiempo de mano de obra utilizado para su instalación final.
10. Coordinar la presentación final de Megaproyecto, diseñando todo el material necesario para la misma: video, afiches publicitarios e invitaciones vía correo electrónico.

## VII. RESULTADOS

### **A. Resultados Módulos: (1) Parámetros de operación del proceso; (2) Actuadores, sensores de temperatura y lectura de refractómetro; (3) Medición de presión interna, volumen y flujo de vapor condensado y alimentación; (4) Comunicación e interfaz de usuario.**

#### 1. Diagrama de proceso e instrumentación:

a. Evaluación del equipo: La torre de destilación está conformada por un calderín, estableciendo la presión del vapor que ingresa al mismo. La columna de destilación está formada por diez platos en los cuales se determina la temperatura y además poseen dos salidas para la toma de muestra de líquido, vapor. Cada plato posee un ingreso de flujo de alimentación o reflujo según sea el caso. Se realiza la medición de la presión interna de la columna de destilación por encima del primer plato. El condensador posee dos salidas, la principal es la salida del destilado y permite el reflujo hacia el primer plato, al cual se puede realizar un calentamiento por medio de un intercambiador. La segunda salida del condensador permite un reflujo a cualquiera de los platos. La torre puede ser utilizada para destilación por lotes o como sistema continuo.

#### b. Proponer el diagrama del equipo automatizado y los accesorios electrónicos:

Se dividió la torre de destilación en secciones: calderín, tanque de alimentación, columna de destilación, el condensador. En la Figura 5. Diagrama del Proceso e Instrumentación, la nomenclatura usada en la misma puede observarse en el Tabla 5 Listado de la instrumentación y equipo de la torre de destilación.

1) Calderín: Se analizara el flujo de vapor que se está alimentado, por lo cual se divide en el ingreso de vapor, que se determina por medio de la presión del mismo y la salida del condensado del mismo.

a) Ingreso del vapor: El ingreso de vapor está determinado por una válvula de control proporcional, VC-01. El sensor de presión PIT-01 es una medida de la cantidad de vapor que ingresa al sistema, con esto se realizó un lazo de control el cual utiliza la presión como sistema de control se busca que se mantenga constante para evitar fluctuaciones en el proceso.

b) Tanque de condensado: Se almacena los condensados obtenidos del calderín por medio del PIT-04 se determinara el flujo de condensados que se maneja, utilizando el cambio de presión producido por la columna de agua en el tiempo, al llegar a cierto nivel este inicia el proceso de descarte por medio de la válvula ZVC-27, con el objetivo de determinar el calor que es

enviado al sistema, permitiendo el segundo lazo de control en el cual se busca tener un flujo de calor ingresando al sistema.

- 2) **Tanque de alimentación:** Se depositará la mezcla de alimentación, el sensor de presión PIT-03, determinara la presión de la columna de la mezcla en el tiempo.

Estableciendo el flujo de alimentación, siendo modificado por medio de la válvula proporcional, VC-02, al flujo deseado por el usuario.

- 3) **Columna de destilación:** Consta de 10 platos, cada uno de estos posee ingreso de alimentación, dos salidas una para la fase líquida y otra para la fase gaseosa y un termopozo para la temperatura, además se registra la presión general de los platos.

a) **Sensores de temperatura:** Se colocaron termopares, dentro de cada uno de los platos en contacto con la fase líquida, son TI-01 al TI10.

b) **Sensor de presión:** Se colocara por encima del primer plato, su función es determinar la presión interna de la columna en funcionamiento, debido a que la presión no cambia significativamente a lo largo de toda la columna.

c) **Alimentación a los platos:** Existen dos líneas de alimentación una para los platos impares y otra línea para los pares, para lo cual se utilizaran válvulas solenoides ZVC-01 hasta ZVC-10.

d) **Muestreo de fase líquida:** Se utilizaron válvulas ZVC-11 a ZVC-20, las cuales se apertura para que salga el líquido hacia el refractómetro, para disminuir las pérdidas por la destilación de simple efecto, dicha tubería se posee una chaqueta fría, produciendo la condensación de los vapores que se produzcan, al llegar la cámara del refractómetro se tomara la temperatura de la mezcla por el sensor TI-11 y el índice de refracción. Se descartara la muestra utilizando la válvula ZVC-26, prosiguiendo con la limpieza de la tubería, por medio de un flujo de agua por la apertura de la válvula ZVC-24, posteriormente será seguido por un flujo de aire al abrir la válvula ZVC-25.

- 4) **Condensador:** Al iniciar un aumento en la temperatura en el primer plato, se apertura la válvula ZVC-23, esta proporciona agua al condensador y al sistema de limpieza del refractómetro. Además el condensador posee dos salidas de producto.

a) **Sensores de temperatura:** Se poseen dos sensores de temperatura uno en al alimentación de agua al condensador y otra en la salida de la misma, con el objetivo de obtener el calor que es eliminado de la torre de destilación.

b) **Reflujo primario:** Esta línea de reflujo se coloca directo al primer plato, para lo cual la válvula ZCV-21 debe de encontrarse abierta, posee un rotámetro electrónico FC-01 el cual controla el reflujo por medio de la válvula proporcional VC.03 la cual limita la salida del destilado del sistema. El reflujo principal tiene un intercambiador de calor con el cual se aumenta la energía del reflujo antes de ingresar a la columna de destilación.



Tabla 19: Listado de la instrumentación y equipo de la torre de destilación.

TAGS	DESCRIPCIÓN	I/A	O/A	I/D	O/D
CV-01	Válvula de control, alimentación de vapor al calderín.	1	1		
CV-02	Válvula de control, alimentación de mezcla a la columna de destilación.		1		2
CV-03	Válvula de control, descarga de destilado de la columna.		1		2
ZVC-01	Válvula solenoide, alimentación del primer plato.				1
ZVC-02	Válvula solenoide, alimentación del segundo plato.				1
ZVC-03	Válvula solenoide, alimentación del tercer plato.				1
ZVC-04	Válvula solenoide, alimentación del cuarto plato.				1
ZVC-05	Válvula solenoide, alimentación del quinto plato.				1
ZVC-06	Válvula solenoide, alimentación del sexto plato.				1
ZVC-07	Válvula solenoide, alimentación del séptimo plato.				1
ZVC-08	Válvula solenoide, alimentación del octavo plato.				1
ZVC-09	Válvula solenoide, alimentación del noveno plato.				1
ZVC-10	Válvula solenoide, alimentación del décimo plato.				1
ZVC-11	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del primer plato.				1
ZVC-12	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del segundo plato.				1
ZVC-13	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del tercer plato.				1
ZVC-14	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del cuarto plato.				1
ZVC-15	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del quinto plato.				1
ZVC-16	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del sexto plato.				1
ZVC-17	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del séptimo plato.				1
ZVC-18	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del octavo plato.				1
ZVC-19	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del noveno plato.				1
ZVC-20	Válvula solenoide, muestra de fase líquida del décimo plato.				1
ZVC-21	Válvula solenoide, línea principal de reflujo, a primer plato.				1
ZVC-22	Válvula solenoide, línea secundaria de reflujo, a cualquier plato.				1
ZVC-23	Válvula solenoide, alimentación de agua al condensador.				1
ZVC-24	Válvula solenoide, agua de limpieza del refractómetro.				1
ZVC-25	Válvula solenoide, aire de limpieza del refractómetro.				1
ZVC-26	Válvula solenoide, salida de muestra del refractómetro.				1
ZVC-27	Válvula solenoide, descarga de tanque de condensado.				1
PT-01	Barómetro, presión de ingreso del vapor al calderín.				
PT-02	Barómetro, presión de la columna de destilación.				
PIT-01	Sensor de presión ingreso del vapor al calderín.	1			
PIT-02	Sensor de presión de la columna de destilación.	1			
PIT-03	Sensor de presión en el tanque de alimentación	1			
PIT-04	Sensor de presión en el tanque de condensado de vapor.	1			
FC-01	Transmisor de flujo, para línea principal, determinar el reflujo.	1			
FI-01	Rotámetro, para línea secundaria de reflujo.				
TI-01	Sensor de temperatura primer plato.	1			
TI-02	Sensor de temperatura segundo plato.	1			
TI-03	Sensor de temperatura tercer plato.	1			
TI-04	Sensor de temperatura cuarto plato.	1			
TI-05	Sensor de temperatura quinto plato.	1			
TI-06	Sensor de temperatura sexto plato.	1			
TI-07	Sensor de temperatura séptimo plato.	1			
TI-08	Sensor de temperatura octavo plato.	1			
TI-09	Sensor de temperatura noveno plato.	1			
TI-10	Sensor de temperatura décimo plato.	1			
TI-11	Sensor de temperatura cápsula del refractómetro plato.	1			
TI-12	Sensor de temperatura alimentación de agua al condensador.	1			
TI-13	Sensor de temperatura descarga de agua del condensador.	1			
	Entradas analógicas de 4-20 mA	19			
	Salidas analógicas de 4-20 mA		3		
	Entradas discretas (ON/OFF)			0	
	Salidas discretas (ON/OFF)				31

2. Se logró medir la presión interna de la columna de destilación en el decimo y primer plato a través del uso de sensores de presión de 4-20mA como salida eléctrica, procesando y transmitiendo los datos a través de un microcontrolador de la familia PIC18F4523.
3. La medición de vapor condensado fue implementado a través de un tanque contenedor de 10.4 Litros de capacidad volumétrica, mediante el cual se logró medir el flujo proveniente de la trampa de vapor y el volumen total de vapor que haya pasado a través de él.
4. La medición de flujo de alimentación fue implementada utilizando un tanque con capacidad volumétrica de 23.6 Litros en el cual se depositó la mezcla que alimentaría la columna, pudiendo registrar el volumen total en el interior del tanque y los cambios por unidad de tiempo (caudales) que se registraban en tiempo real.
5. La comunicación de los datos se logró a través de la utilización de una trama de 15 bytes utilizando el protocolo de comunicación SPI.
6. Se tiene el control de todas las válvulas implicadas en el proceso de destilación.
7. Se desarrolló un control adecuado de los tres tipos de reflujo, desde el condensador hacia el plato 1 de la torre de destilación (plato superior), desde un recipiente externo con solución fría a cualquier plato de la torre de destilación y desde el condensador hacia cualquier plato.
8. Se aplicó conceptos de instalaciones intrínsecamente seguras (IS) a la columna de destilación.
9. Se construyó un circuito que controla todo el equipo adquirido y se programó los microcontroladores esclavos para implementar el protocolo completo de comunicación serial que se utiliza entre los tres microcontroladores esclavos y el microcontrolador maestro.
10. Se lee los datos proporcionados por el refractómetro en línea utilizando protocolo serial de comunicación RS232. Se implementó el hardware y software necesario para la lectura del mismo.
11. Se diseñó e implementó circuitos de potencia necesarios para alimentar los actuadores instalados.
12. Se garantiza confiabilidad de los datos transmitidos ya que se tiene implementado un algoritmo de revisión cíclico (CRC) para poder detectar desincronización y errores en la comunicación.
13. El micro-controlador maestro es capaz de comunicarse con los demás controladores y se puede garantizar en un alto porcentaje la confiabilidad de los datos recibidos.
14. Se logró aumentar la longitud del cable que comunica la computadora y el sistema utilizado un protocolo balanceado. Y se disminuyó la vulnerabilidad al ruido en esta comunicación.
15. Se desarrolló una aplicación amigable donde se puede actuar sobre el sistema y observar sus variaciones.

16. La aplicación (HMI) le permite trabajar al usuario con ocho distintos modos de operación.
17. Se logró el control de todas las válvulas desde la aplicación (Modo Usuario).
18. La aplicación muestra la lectura de cada sensor con un tiempo de refrescado de aproximadamente un segundo.
19. En la aplicación se puede observar la gráfica de las temperaturas de todos los platos en el tiempo.
20. Se logró la conexión con Siteplayer, que permite operar y monitorizar lo que está sucediendo en la columna de destilación.
21. El selector inteligente es capaz de discriminar si el sistema obedece a la computadora o a Siteplayer.
22. Predicción de parámetros de operación:
  - a. Elección del método: Se eligió el método de Ponchon-Savarit. Se obtendrán curvas de operación, flujos de calor del condensador y del calderín, para una presión especificada.
  - b. Construir la curva de equilibrio  $y$ ,  $x$ : Se realizaron los siguientes pasos:
    - 1) Método para la estimación de coeficientes de activación: Se realizó una revisión de la bibliografía, determinándose que el método UNIFAC para la estimación de los coeficientes de activación era el adecuado para la mezcla de etanol/agua.
    - 2) Cálculo de los coeficientes de activación: Se elaboró un programa se debe ingresar la presión como el parámetro constante y la concentración en la fase líquida varía, dando como resultados la concentración en la fase gaseosa y la temperatura ver la Figura 40. La curva de equilibrio se elabora evaluando la concentración de la fase líquida desde sustancia pura de agua,  $x = 0$ , hasta sustancia pura de etanol,  $x = 1$ , con una variación de 0.001, Figura 39.

Figura 40. Diagrama de flujo, CuvPresión(P).

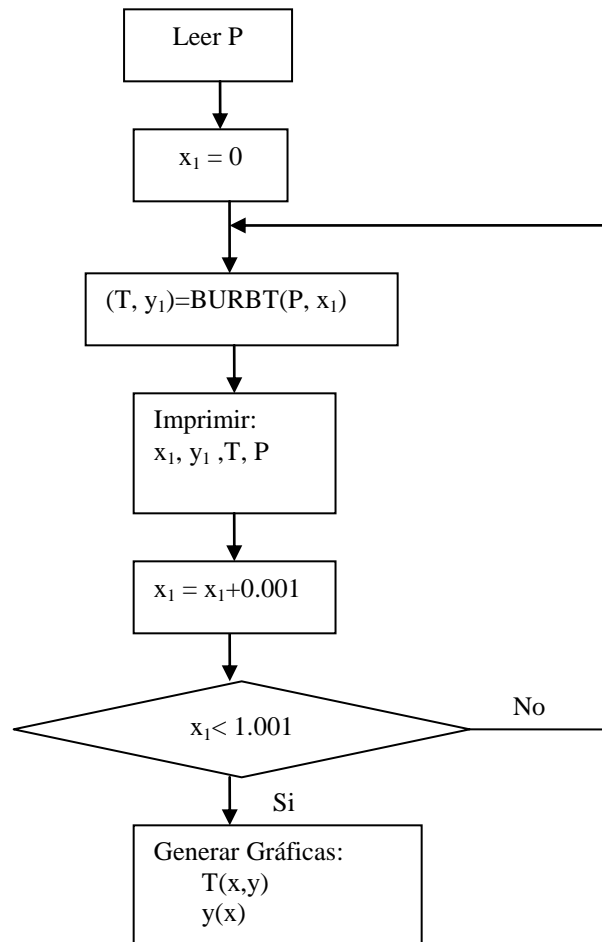
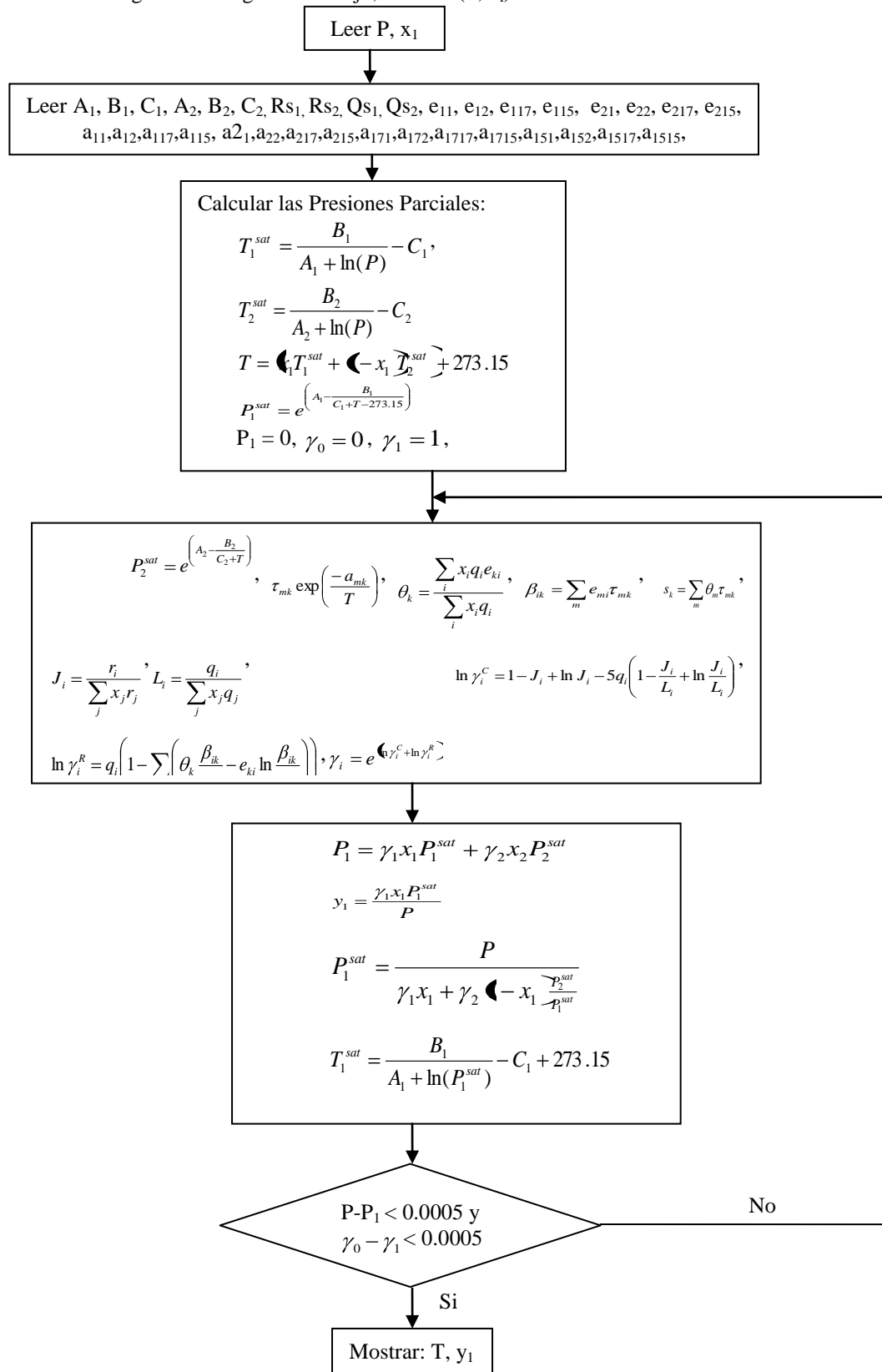


Figura 41: Diagrama de flujo, BURBT(P, x<sub>1</sub>).

c. **Curvas de entalpías:** Debido a que la entalpía es una propiedad de estado, se determinó la ecuación en función de la temperatura y la concentración de la fase que se evalúa. Para la fase líquida se procedió a determinar los cambios de entalpías significativos en dicha fase:

$$\Delta H_l = \text{Calor Sensible} + \text{Calor de Disolución} \quad \text{Ecuación 52}$$

$$\Delta H_l = x_l \Delta H_{e \text{ tan ol}} + (-x_l) \Delta H_{\text{agua}} + \Delta H_{\text{Disolución}} \quad \text{Ecuación 53}$$

Calor sensible se obtiene de las siguientes ecuaciones:

$$\Delta H_{e \text{ tan ol}} = \int_{T_1}^{T_{\text{Rocío}}} \frac{C_p}{R} \partial T \quad \text{Ecuación 54}$$

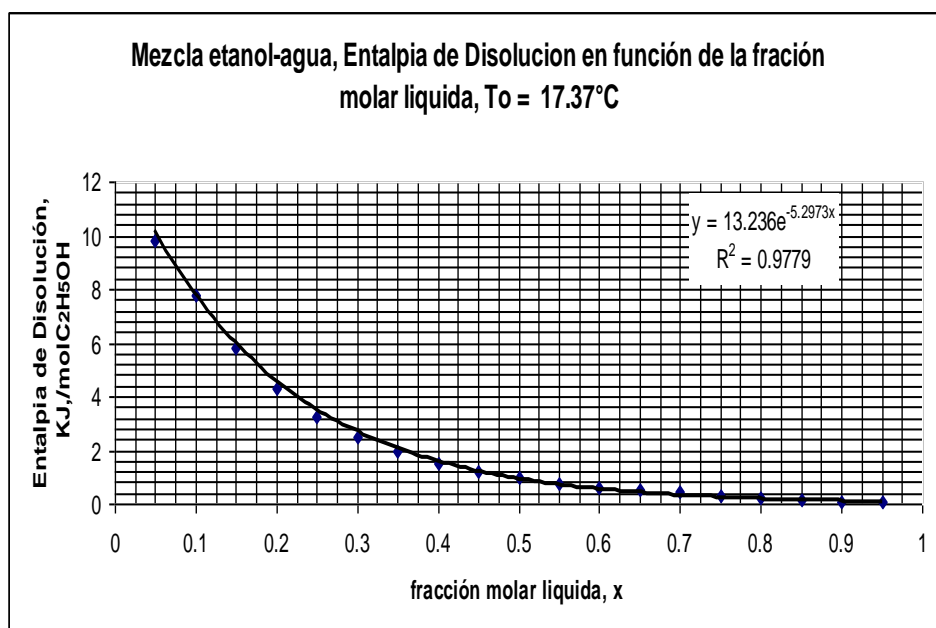
$$\Delta H_{\text{agua}} = \int_{T_1}^{T_{\text{Rocío}}} \frac{C_p}{R} \partial T \quad \text{Ecuación 55}$$

$$\text{donde, } \frac{C_p}{R} = A + BT + CT^2 + DT^{-2} \quad \text{Ecuación 49}$$

La entalpía de disolución para la mezcla de etanol-agua se determinó a una temperatura de referencia de 17.35°C. Dando como resultado una tendencia exponencial.

$$H_{\text{dis}} = 13.236e^{-5.2973x} \quad \text{Ecuación 57}$$

Figura 42. Entalpía de disolución para la mezcla de etanol-agua en función de la fracción líquida, x.



En el caso fase gaseosa se procedió a determinar los cambios de entalpías significativos en dicha fase:

$$\Delta H_G = \text{Calor Sensible} + \text{Calor latente} + \text{Calor en exceso} \quad \text{Ecuación 58}$$

$$\Delta H_G = y \Delta H_{e \text{ tan ol}} + (-y) \Delta H_{\text{agua}} + \Delta H_{\text{exceso}} + \Delta H_{\text{latente}} \quad \text{Ecuación 59}$$

Calor sensible se obtiene de las siguientes ecuaciones:

$$\Delta H_{e \tan ol} = R \int_{T_1}^{T_{Burb}} \frac{C_p}{R} \partial T \quad \text{Ecuación 60}$$

$$\Delta H_{agua} = R \int_{T_1}^{T_{Burb}} \frac{C_p}{R} \partial T \quad \text{Ecuación 61}$$

La entalpía en exceso, se utilizan las siguientes ecuaciones para la correlación de Pitcher:

$$\frac{H^R}{RT_c} = P_r \left[ B^0 - T_r \frac{dB^0}{dT_r} + \omega \left( B^1 - T_r \frac{dB^1}{dT_r} \right) \right] \quad \text{Ecuación 62}$$

$$B^0 = 0.083 - \frac{0.422}{T_r^{1.6}} \quad \text{Ecuación 63}$$

$$\frac{dB^0}{dT_r} = \frac{0.675}{T_r^{2.6}} \quad \text{Ecuación 64}$$

$$B^1 = 0.139 - \frac{0.172}{T_r^{4.2}} \quad \text{Ecuación 65}$$

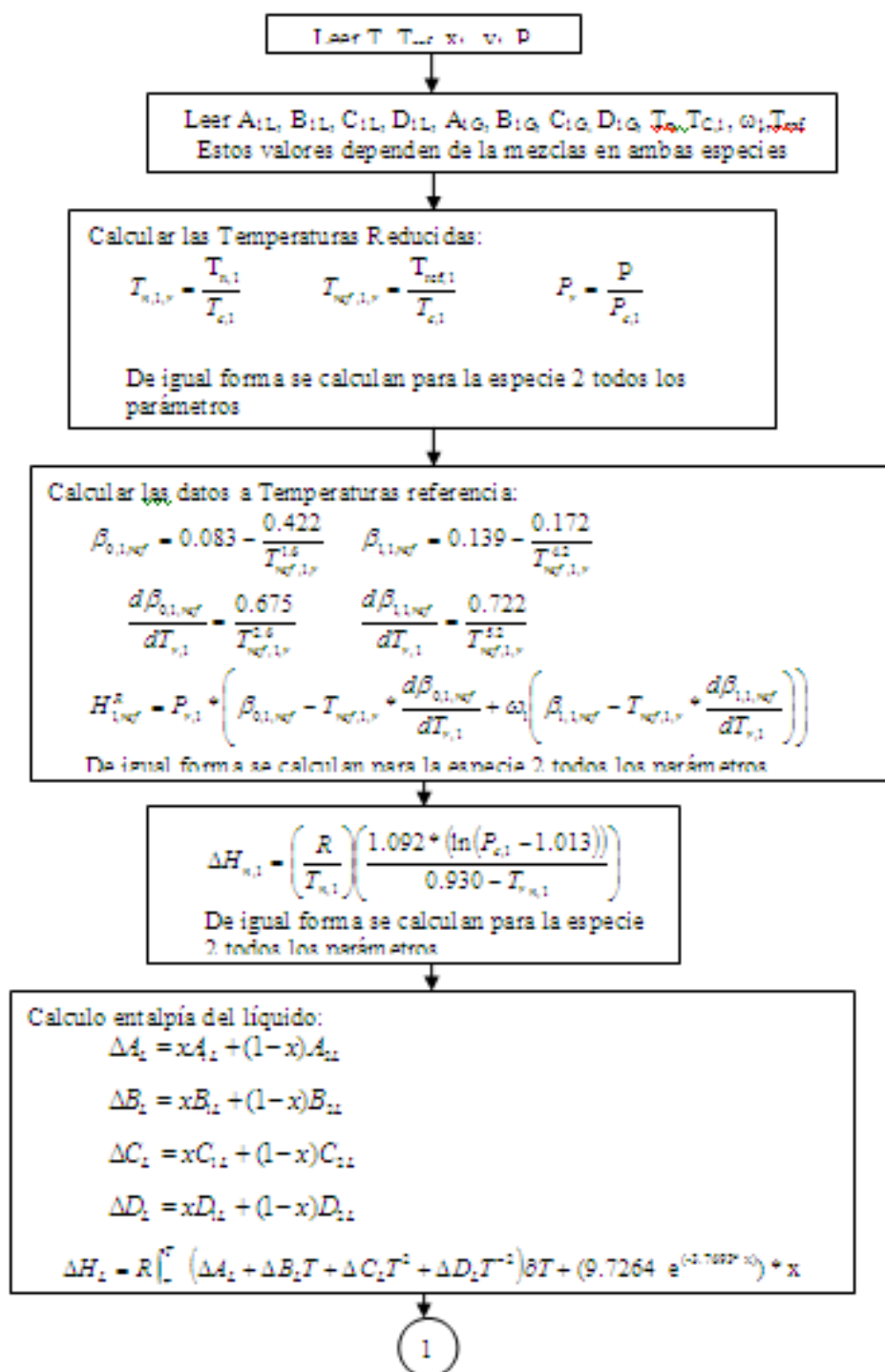
$$\frac{dB^1}{dT_r} = \frac{0.722}{T_r^{5.2}} \quad \text{Ecuación 66}$$

Calor latente, se obtiene de las siguientes ecuaciones:

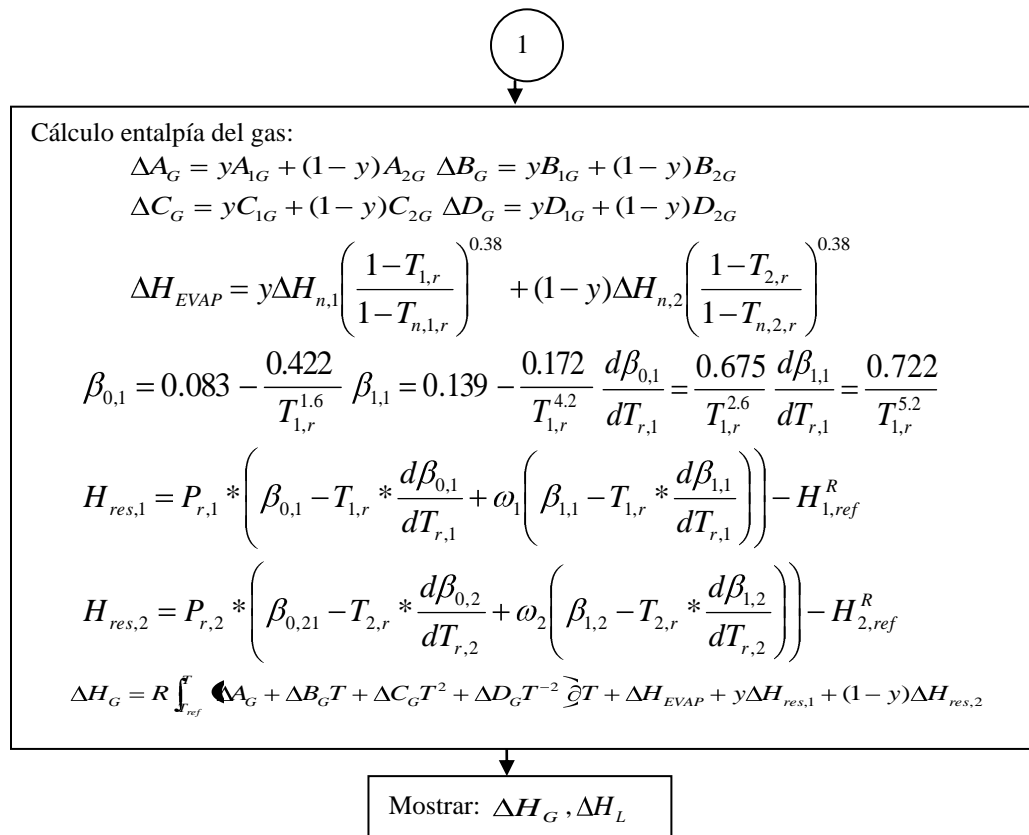
$$\frac{\Delta H_n / T_n}{R} = \frac{1.092(\ln P_c - 1.013)}{0.930 - T_{rn}} \quad \text{Ecuación 67}$$

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = \left( \frac{1 - T_{r_2}}{1 - T_{r_1}} \right)^{0.38} \quad \text{Ecuación 68}$$

El diagrama de flujo utilizado para obtener las curvas de las entalpías en ambas fases, se encuentra en la Figura 42.

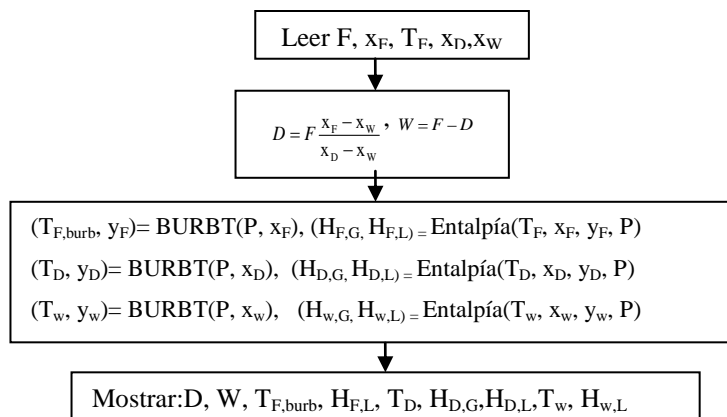
Figura 43. Diagrama de flujo, entalpía(T, x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>, P).

Continuación , Figura 43: Diagrama de flujo, entalpía(T, x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>, P).



d. Curva de operación: La elaboración de las curvas de operación según el método de Ponchon-Savarit se calcula el balance general de masa y energía; el reflujo mínimo y platos al infinito; el reflujo máximo y platos mínimos y el reflujo óptimo.

1) Balance general de masa y energía: Se generó el diagrama de flujo para la obtención de flujo de destilado, flujo de colas, entalpía de alimentación, entalpía de destilado y entalpía de colas, ver Figura 43.

Figura 44. Diagrama de flujo, BME( $F, x_F, T_F, x_D, X_w$ ).

2) Reflujo mínimo y platos al infinito: Se determina en el punto cuando las líneas de operación se cruzan en el equilibrio, haciendo casi imposible la separación de las muestras, puesto las fases están conectadas por medio de la línea de unión, es la línea que une la entalpía de la fase gaseosa y fase líquida de una pareja en equilibrio  $x, y$ .

$$m = \frac{H_G - H_L}{y - x} \quad \text{Ecuación 50}$$

$$b = H_G - my \quad \text{Ecuación 51}$$

Para encontrar el reflujo mínimo se debe buscar la línea de unión en la cual al extrapolarse, y contener la entalpía de alimentación y fracción de la alimentación.

$$H = m_i * x_F + b_i \quad \text{Ecuación 52}$$

Luego ésta se extrapola hacia la concentración de colas y la concentración de destilado:

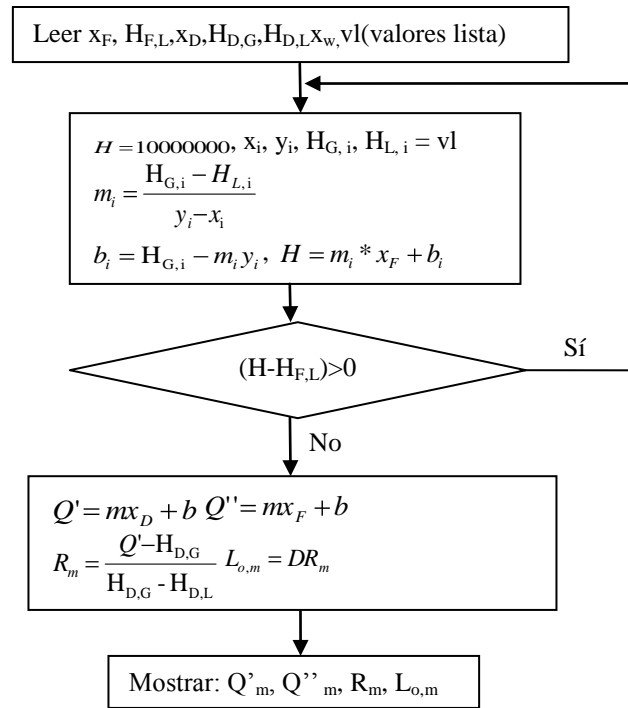
$$Q'_m = mx_D + b \quad \text{Ecuación 53}$$

$$Q''_m = mx_F + b \quad \text{Ecuación 54}$$

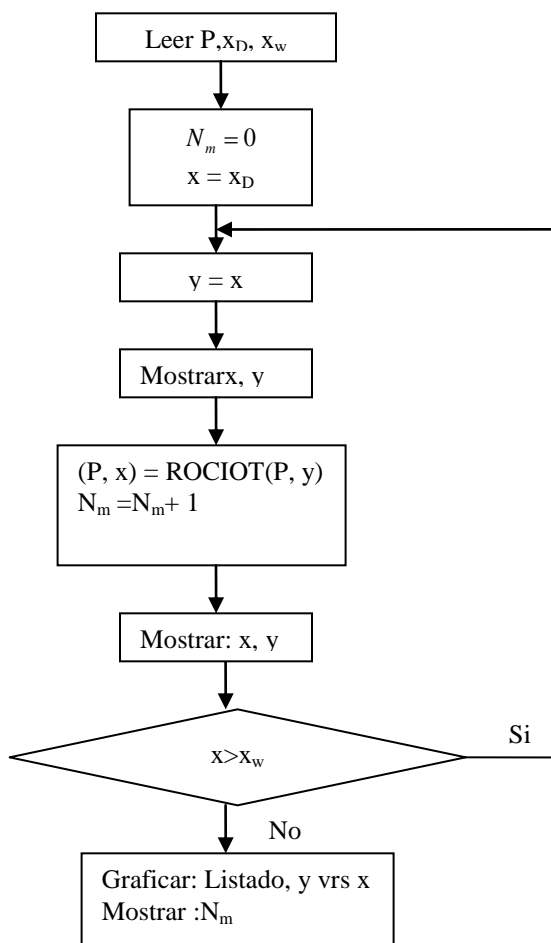
El valor mínimo de reflujo se obtiene con el  $Q'_m$  usando la ecuación siguiente:

$$R_m = \frac{Q'_m - H_{D,G}}{H_{D,G} - H_{D,L}} \quad \text{Ecuación 69}$$

Para la determinación del reflujo mínimo se utiliza el diagrama que aparece en la Figura 44.

Figura 45. Diagrama de flujo, Refmin( $x_F, H_{F,L}, x_D, H_{D,G}, H_{D,L}, x_w$ ).

3) Reflujo al infinito y Platos mínimos: Se produce cuando la curva de operación responde a la ecuación  $y_i = x_i$ . Para realiza este cálculo se determina que se conoce el valor del equilibrio procedentes para la presión y la concentración de la fase gaseosa, por lo cual se generó un nuevo programa el cual se puede observar el diagrama de flujo en la Figura 46. Debido a que el cálculo para determinar los platos mínimos se intercala con la línea de operación y la línea de equilibrio, se finaliza cuando la concentración de  $x$  es menor a la concentración de las colas, ver Figura 45.

Figura 46. Diagrama de Flujo, Platmin(P,  $x_D$ ,  $x_w$  ).

4) **Reflujo óptimo:** Para determinar el reflujo óptimo se calculan la relación de reflujo con la cual se obtenga el número de platos adecuado para el mismo, por lo cual se utiliza el método propuesto en Treybal ,1982, en el cual se evalúa  $R/(R+1)$  con lo cual se limita entre el  $R_m/(R_m+1)$  y 1. Se utiliza el método de bisección para el número de platos adecuado. El diagrama del programa que realiza dicho recalcular la cantidad de platos a diferentes reflujos, hasta que se acerca al valor más adecuado. En la Figura 46 y 47 se puede observar el procedimiento efectuado.

Figura 47: Diagrama de Flujo, ROCIOT(P, y<sub>1</sub>).

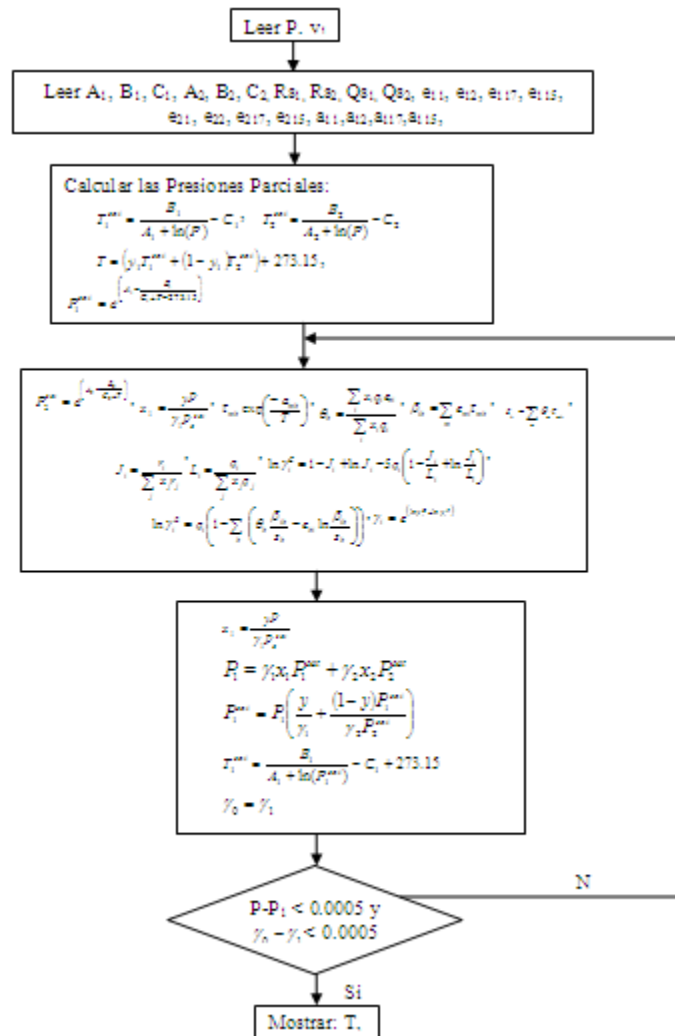
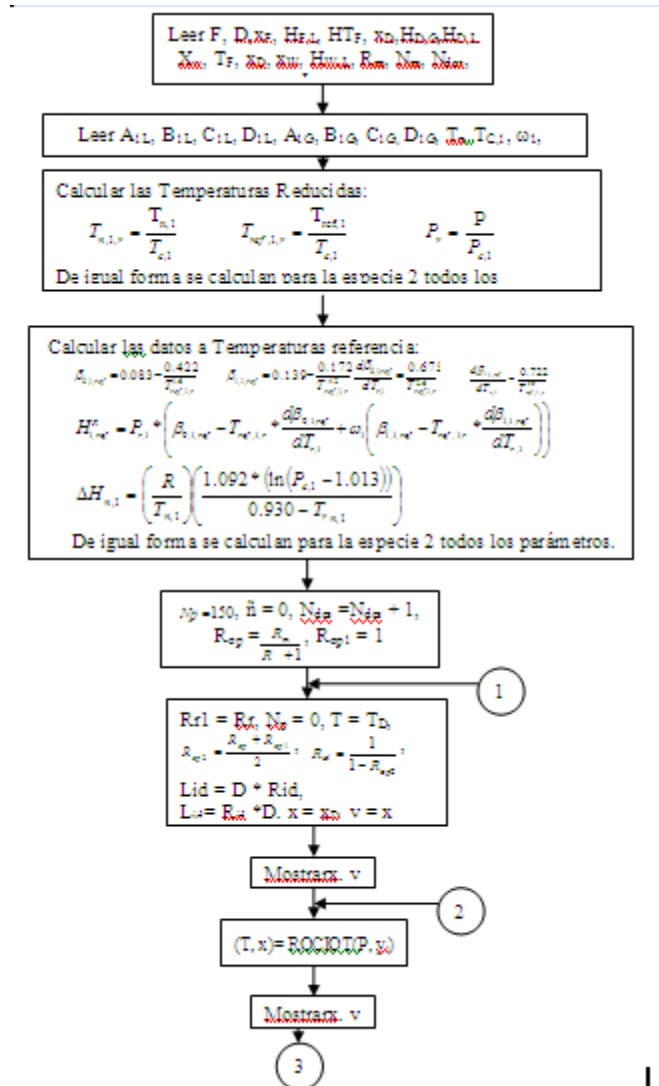
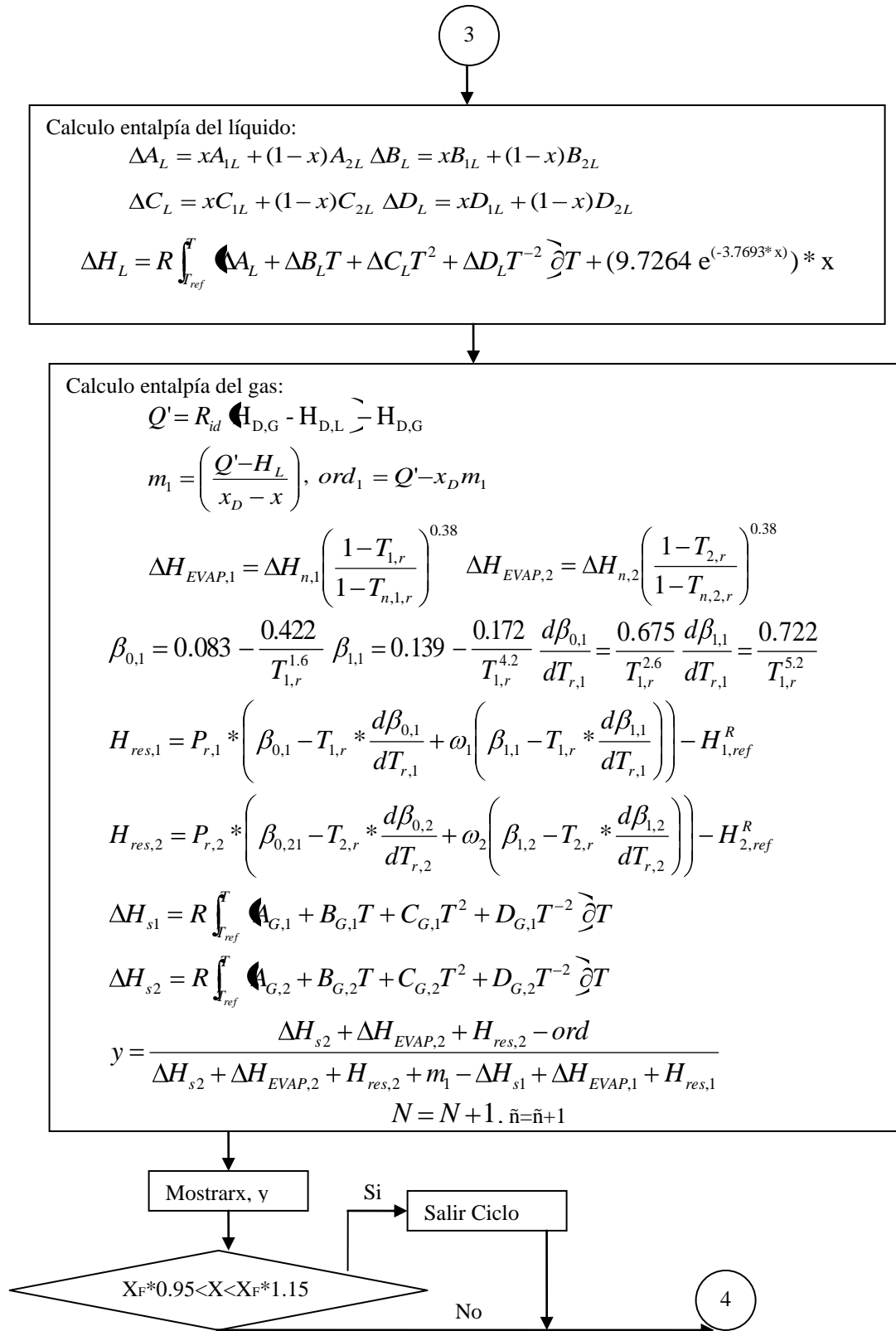


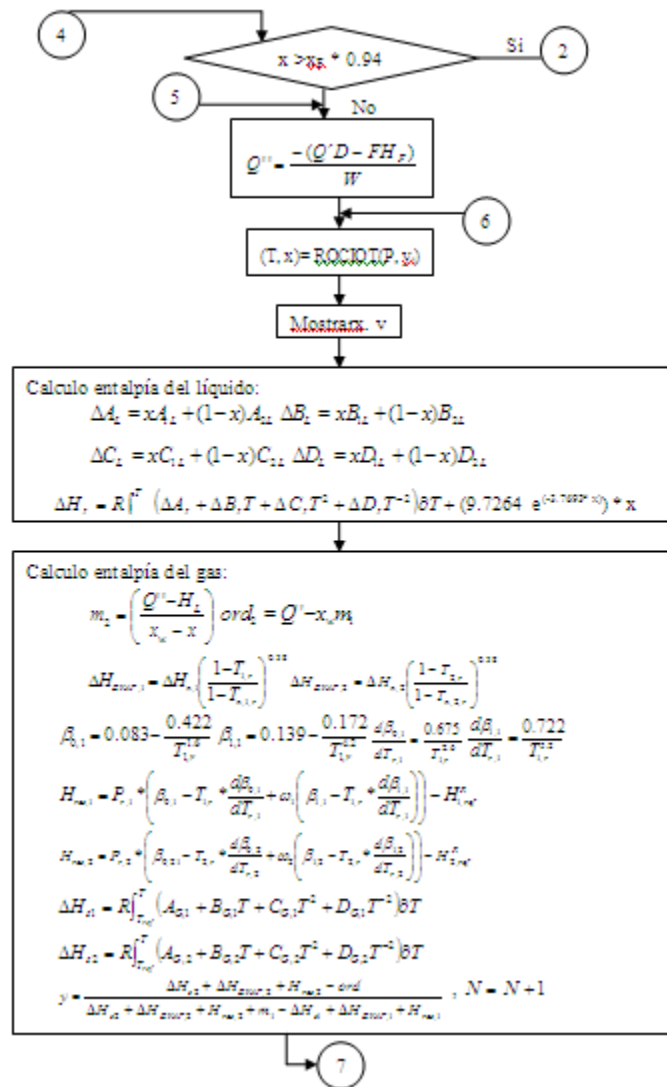
Figura 48. Diagrama de flujo Ropt(F, D, x<sub>F</sub>, H<sub>F,L</sub>, HT<sub>F</sub>, x<sub>D</sub>, H<sub>D,G</sub>, H<sub>D,L</sub>, X<sub>w</sub>, T<sub>F</sub>, x<sub>D</sub>, x<sub>w</sub>, H<sub>w,L</sub>, R<sub>m</sub>, N<sub>m</sub>, N<sub>des</sub>, L<sub>o,m</sub>)



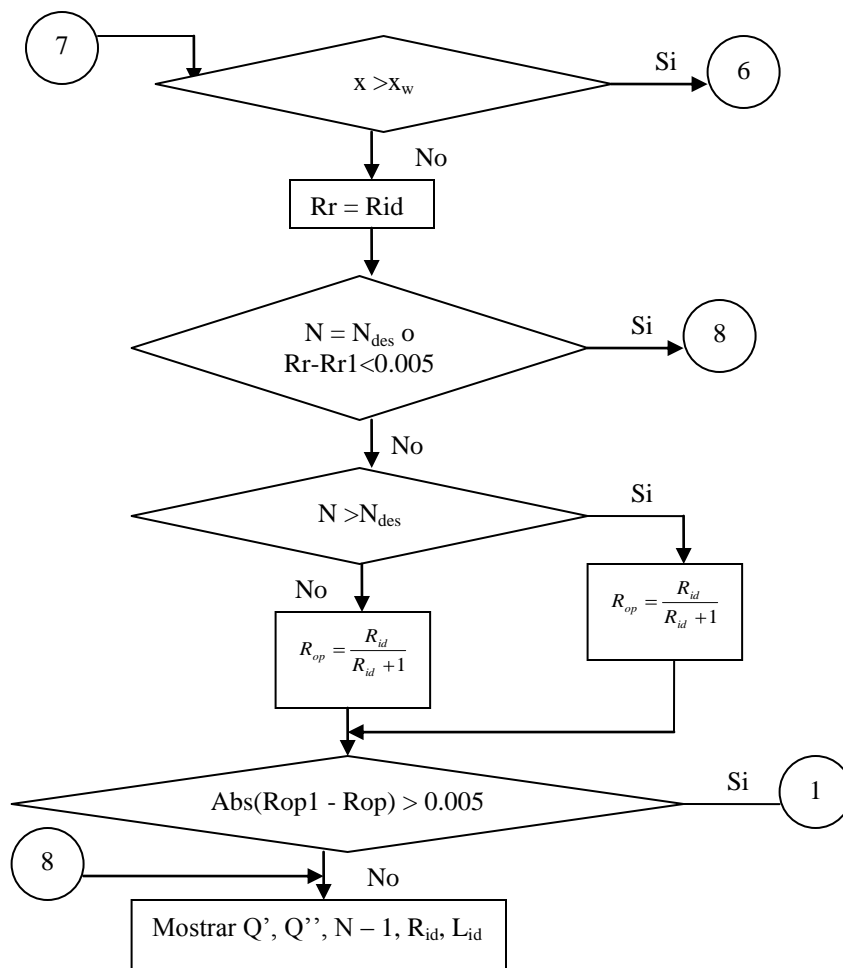
Continuación figura 48. Diagrama de flujo Ropt(F, D, x<sub>F</sub>, H<sub>F,L</sub>, HT<sub>F</sub>, x<sub>D</sub>, H<sub>D,G</sub>, H<sub>D,L</sub>, X<sub>w</sub>, T<sub>F</sub>, x<sub>D</sub>, x<sub>w</sub>, H<sub>w,L</sub>, R<sub>m</sub>, N<sub>m</sub>, N<sub>des</sub>, L<sub>o,m</sub>)



Continuación figura 48. Diagrama de flujo Ropt(F, D, x<sub>F</sub>, H<sub>F,L</sub>, HT<sub>F</sub>, x<sub>D</sub>, H<sub>D,G</sub>, H<sub>D,L</sub>, X<sub>w</sub>, T<sub>F</sub>, x<sub>D</sub>, x<sub>w</sub>, H<sub>w,L</sub>, R<sub>m</sub>, N<sub>m</sub>, N<sub>des</sub>, L<sub>o,m</sub>)



Continuación figura 48. Diagrama de flujo  $R_{opt}(F, D, x_F, H_{F,L}, HT_F, x_D, H_{D,G}, H_{D,L}, X_w, T_F, x_D, x_w, H_{W,L}, R_m, N_m, N_{des}, L_{o,m})$



23. Parámetros de operaciones reales de la torre de destilación : Los valores que se utilizarán como parámetros la fracción molar de la fase líquida y la temperatura en el plato. Se generan por cada plato, la composición de la fase gaseosa, la presión, la entalpía en la fase líquida y la entalpía en la fase gaseosa. El código se puede observar en la Figura 48 permite calcular el equilibrio conociendo solamente la temperatura y la concentración de la fase líquida. En la Figura 49 con la cual se obtienen todos los parámetros de operación de la torre de destilación experimentalmente. La concentración de la fase líquida es determinada por medio del índice de refracción.

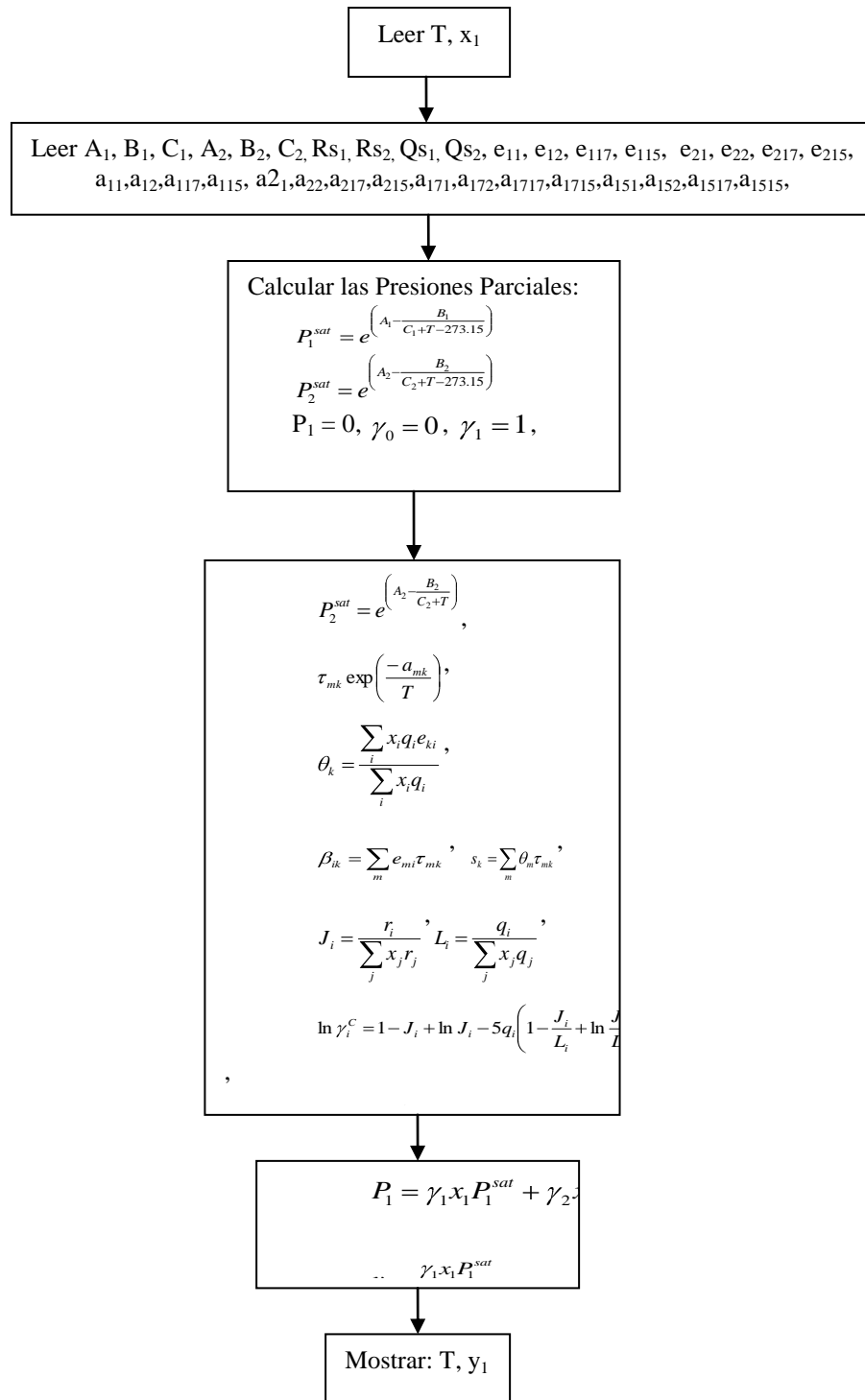
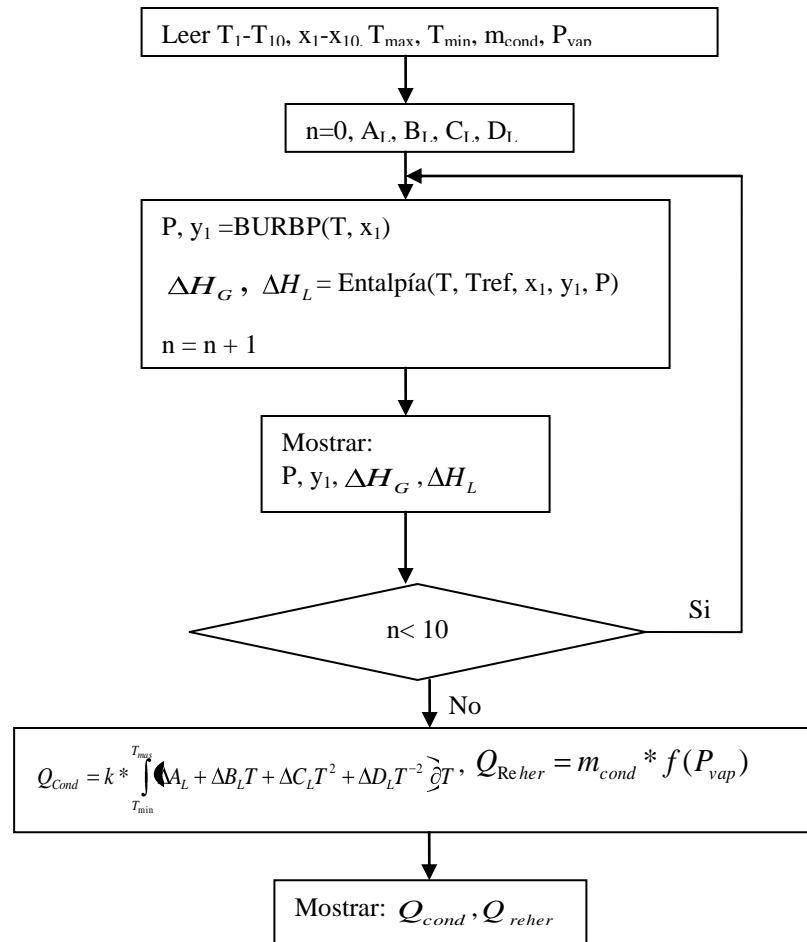
Figura 49. Diagrama de flujo, BURBP(T, x<sub>1</sub>)

Figura 50. Diagrama de flujo Expe( $T_1-T_{10}$ ,  $x_1-x_{10}$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $m_{cond}$ ,  $P_{vap}$ ).



#### 24. Aplicación generación de parámetros de funcionamiento: La aplicación de

parámetros de funcionamiento brinda al usuario de la torre de destilación valores sugeridos para el funcionamiento del equipo. Dicha aplicación se divide en dos secciones la de ideal y experimental. Está programada en Visual Basic de Microsoft Excel y se relaciona con el módulo de control, comunicación e interfaz de usuario, con lo cual esta aplicación puede enviar y recibir información de la torre de destilación en tiempo real.

En la sección ideal el usuario debe ingresar la presión, la cantidad de platos, las condiciones de la alimentación: flujo, concentración y temperatura, además de ingresar la concentración de destilados y colas. Con esto se brindará parámetros sugeridos: reflujo, relación de reflujo, flujo de calor hacia el calderín y flujo de calor desde condensador. Brindará la entalpía de la alimentación, el flujo y entalpía del destilado y los residuos. Además del número mínimo de platos y el reflujo mínimo, los cálculos son efectuados por el método de Ponchon-Savarit. El usuario podrá visualizar la curva de equilibrio, la curva de entalpías, grafica de plato mínimos, grafica de reflujo mínimo y grafica de platos ideales. Figura 50.

Figura 51. Vista de la aplicación sección Ideal.

MODULO: PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL PROCESO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS  
SEGUNDA FASE DE AUTOMATIZACIÓN

Manual Creditos

IDEALES | EXPERIMENTAL

**DATOS SOLICITADOS**

Presión de Operación:  atm

Número de platos:  Máximo 10

Condiciones de alimentación:

Flujo:   $\frac{\text{mol mezcla}}{\text{h}}$

Concentración:   $\frac{\text{mol etanol}}{\text{mol total}}$

Temperatura:  °C

Concentración Destilado:   $\frac{\text{mol etanol}}{\text{mol total}}$

Concentración Colas:   $\frac{\text{mol etanol}}{\text{mol total}}$

**DATOS GENERADOS**

Relacion de Reflujo: Minima  Ideal

Reflujo: Minimo  Ideal   $\frac{\text{mol mezcla}}{\text{h}}$

Número de platos minimo:

Condensador:

Flujo de Calor, Qc   $\frac{\text{J}}{\text{s}}$  Q', Calor/mol   $\frac{\text{J}}{\text{mol}}$

Rehervidor:

Flujo de Calor, Qb   $\frac{\text{J}}{\text{s}}$  Q'', Calor/mol   $\frac{\text{J}}{\text{mol}}$

Entalpia de Alimentación:   $\frac{\text{J}}{\text{mol}}$

Flujo Destilado:   $\frac{\text{mol mezcla}}{\text{h}}$

Entalpia Destilado:   $\frac{\text{J}}{\text{mol}}$

Flujo Cola:   $\frac{\text{mol mezcla}}{\text{h}}$

Entalpia Cola:   $\frac{\text{J}}{\text{mol}}$

Actualizar Calcular Salir

Y(X) T(X) y T(Y) **Hg(Y) y HL(X)**

Reflujo Minimo Platos Minimos Platos Ideales

La sección de experimental, obtiene los datos de los sensores colocados en la torre de destilación, presión, tiempo, flujo de alimentación, reflujo, la temperatura de salida y entrada del agua al condensador, para el calderín el flujo de condensado, la presión del vapor alimentado, la columna de destilación la temperatura y la concentración en la fase líquida. Con estos valores se determina el flujo de calor saliente del condensador, el flujo de calor brindado al calderín y el balance de masa y energía a lo largo de la columna de destilación, ver Figura 51.

Figura 52. Vista de la aplicación sección Experimental.

MODULO: PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL PROCESO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS  
SEGUNDA FASE DE AUTOMATIZACIÓN

Manual Credits

IDEALES EXPERIMENTAL

Columna de Destilación

Plato	Temperatura		x	y	Entalpia	
	K				Gas $\frac{J}{s}$	Liquido $\frac{J}{s}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Condensador

Temperatura Salida  K

Temperatura Entrada  K

Flujo de Calor   $\frac{J}{s}$

Rehervidor

Flujo de condensado   $\frac{mol}{h}$

Presion, vapor alimentado  atm

Flujo de Calor   $\frac{J}{s}$

Flujo Alimentado   $\frac{mol}{h}$

Reflujo   $\frac{mol}{h}$

Actualizar Platos Reales

Calcular Salir

Presion de operación  atm Tiempo  h

B. Resultados módulo interfaz web para el monitoreo de variables y manejo a distancia de los sistemas automatizados

1. **Sitio en Internet** : Se logró desarrollar una aplicación web capaz de trabajar con múltiples usuarios en diferentes lugares al mismo tiempo. Las herramientas y técnicas utilizadas utilizan tecnología actual y estándar, por lo que encontrar documentación relacionada es relativamente sencillo.

Su diseño, apariencia y parecido con aplicaciones relacionadas facilitan la usabilidad del sitio y la curva de aprendizaje fue relativamente pequeña en pruebas con algunos potenciales usuarios del sistema.

Algunos de los comentarios dados por usuarios de prueba fue lo complicado que resulta ser la configuración inicial del proyecto. En la mayoría de casos la configuración completa tomo aproximadamente veinte minutos.

El uso de funcionalidades para mantener una bitácora de las lecturas de los datos recibidos del siteplayer, debe de ser mejorado ya que la tasa de información guardada es alta, y de no utilizarse toda esta información podría resultar en un desperdicio de memoria y recursos.

El uso de tecnología PHP fue adecuado para la realización del sitio, ya que se contó con la librería curl para lo cual no se encontró un equivalente en tecnologías sustitutas.

2. **Siteplayer:** Se construyó un circuito físico donde se instaló un microcontrolador llamado siteplayer el cual contiene dos interfaces, una serial y otra Ethernet. El servidor web que provee es HTTP 1.0 lo que disminuye funcionalidades comparándolas con el HTTP 2.0 que provee Apache.

La velocidad de respuesta de este servidor es bastante baja, ya que para cada comunicación establecida debe de pre-procesar el documento escrito sustituyendo todo SiteObject por su representación en memoria. Sin embargo para la aplicación que se realizó esta velocidad es suficiente.

Se encontró el problema de poca capacidad de programación en este controlador, por lo que no se pudo realizar chequeos de errores en la transmisión y la tarea fue delegada al servidor apache. Este inconveniente se puede agravar en ambientes muy ruidos, donde la cantidad de tramas corrompidas se vea incrementada.

Otro problema encontrado en la utilización de este controlador, fue su baja capacidad de ofrecer seguridad ante ataques maliciosos, por lo que cualquier usuario que este dentro de la red local del siteplayer puede hacer mal uso de la aplicación.

## **C. Resultados del módulo planificación y presupuesto**

### 1. Conformación de Megaproyecto

- a. Diseño de diagrama de bloques del Megaproyecto. (Ver Figura No.1 en Introducción)
- b. Diseño de logo y manta publicitaria de Megaproyecto para ferias científicas. Para el logo se tomó en cuenta la representatividad de la temática del Megaproyecto y en el caso de la manta se mostró la información más relevante de los objetivos a cumplir en el Megaproyecto y cómo se planificaban cumplir.

Figura 53: Logo Megaproyecto de automatización fase II.



Figura 54: Diseño material publicitario





**AUTOMATIZACIÓN LABORATORIO OPERACIONES UNITARIAS**

**Objetivo del proyecto**

Automatizar la columna de destilación e implementar una serie de variadores de frecuencia al laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), esto siguiendo el deseo de UVG de tener una planta piloto en el campus central. Este trabajo cuenta con el apoyo del Departamento de Ingeniería Electrónica y el Departamento de Ingeniería Química.

**Torre de destilación** (descripción)



**Variadores de frecuencia** (descripción)



Imagen No. 2  
"Diagrama Lógico del proyecto"

**Módulos**



Torre de destilación



Variadores de frecuencia

**Torre de destilación** (software y equipo)



Interfaz Gráfica HMI



Actuadores y Sensores

**Variadores de frecuencia** (equipo e implementari)



Elevadores de Cangilon



Torre de Enfriamiento



Banco Hidráulico



Banco Hidráulico

c. Ficha presupuestaria aproximada de materiales y equipo: Utilizada en la solicitud de fondos al CONCYT. La solicitud presentada a CONCYT fue rechazada, por lo tanto el Megaproyecto fue financiado por la UVG.

## 2. Planificación

a. Cronograma de actividades de enero a mayo 2009. El código de colores indica en color verde aquellas actividades completadas en el tiempo planificado, en amarillo aquellas actividades completadas con demora y en rojo, las actividades incompletas. (Ver Figura 54). En el primer semestre del 2009 las actividades tuvieron una demora aproximada de 2 semanas debido al retraso de pedidos, causado por el ineficiente sistema de compras de la UVG.

## 1) Leyenda de cronogramas:

d: días

Mon: Lunes














Tue: Martes

Wed: Miércoles









Thu: Jueves

Fri: Viernes

Figura 55: Cronograma de actividades primer semestre año 2009, Megaproyecto Automatización Fase II.

		Actividad	Duración	Inicio	Fin	Dependencias
1		 <b>Módulo Torre de destilación</b>	<b>86 d</b>	<b>Mon 02/02/09</b>	<b>Mon 01/06/09</b>	
2		Cotizar válvula para entrada de vapor (B Galindo, JJ Ovando)	11 d	Mon 02/02/09	Mon 16/02/09	
3		Comprar válvula	15 d	Tue 17/02/09	Mon 09/03/09	2
4		Entrega de válvula selenoide (Compras)	6 d	Mon 02/02/09	Mon 09/02/09	
5		Leer manual de válvula selenoide (B Galindo)	2 d	Tue 10/02/09	Wed 11/02/09	4
6		Pruebas de la válvula (B Galindo)	2 d	Thu 12/02/09	Fri 13/02/09	5
7		Analizar y armar circuito de protección (B Galindo)	7 d	Mon 16/02/09	Tue 24/02/09	6
8		Prueba de circuito de protección (B Galindo)	7 d	Wed 25/02/09	Thu 05/03/09	7
9		Programar PIC para válvulas (B Galindo)	7 d	Fri 06/03/09	Mon 16/03/09	8
10		Transición avances de Assembler a Mikro C (B Galindo)	7 d	Tue 17/03/09	Wed 25/03/09	9
11		Determinar solución para medir volumen de vapor (C Aguirre)	11 d	Mon 02/02/09	Mon 16/02/09	
12		Pruebas volumen de vapor (C Aguirre)	9 d	Tue 17/02/09	Fri 27/02/09	11
13		Pruebas con protocolo de comunicación (C Aguirre)	11 d	Mon 02/03/09	Mon 16/03/09	12
14		Pruebas con medidores de presión (C Aguirre)	10 d	Tue 17/03/09	Mon 30/03/09	13
15		Ensamblar dato de transductores de presión (C Aguirre)	14 d	Wed 01/04/09	Mon 20/04/09	14
16		Construir modelo de medición de volumen (C Aguirre)	11 d	Mon 04/05/09	Mon 18/05/09	15
17		Realización de reporte escrito	10 d	Tue 19/05/09	Mon 01/06/09	16
18		Establecer protocolo entre columna y torre (R Escobar)	7 d	Mon 09/02/09	Tue 17/02/09	
19		Definir Red Zigbee (R Escobar)	7 d	Wed 18/02/09	Thu 26/02/09	18
20		Realizar pseudocódigo del pic master (R Escobar)	7 d	Fri 27/02/09	Mon 09/03/09	19
21		Corregir lazos de control (R Escobar)	7 d	Tue 10/03/09	Wed 18/03/09	20
22		Crear aplicación para encontrar curvas de equilibrio (R Escobar)	7 d	Thu 19/03/09	Fri 27/03/09	21
23		Programación del Pic Master (R Escobar)	20 d	Mon 30/03/09	Fri 24/04/09	22
24		Programación de la aplicación (R Escobar)	20 d	Mon 27/04/09	Fri 22/05/09	23
25		Demostración a química de la aplicación (R Escobar)	2 d	Mon 25/05/09	Tue 26/05/09	24

Continuación Figura 55

27		<b>☐ Módulo Asesoría Técnica (R Moll)</b>	<b>85 d</b>	<b>Mon 02/02/09</b>	<b>Fri 29/05/09</b>	
28		Construir curva de equilibrio	41 d	Mon 02/02/09	Mon 30/03/09	
29		Construir diagramas EVL, curva Ponchon-Savarit	41 d	Mon 02/02/09	Mon 30/03/09	
30		Conocer valores Índice de refracción	65 d	Mon 02/03/09	Fri 29/05/09	
31		Cálculo de fracción Molar de fase líquida	65 d	Mon 02/03/09	Fri 29/05/09	
32		Determinar valor de composición fase líquida	65 d	Mon 02/03/09	Fri 29/05/09	
33						
34		<b>☐ Módulo de Planificación (JJ Ovando)</b>	<b>25 d</b>	<b>Mon 02/02/09</b>	<b>Fri 06/03/09</b>	
35		Nuevos pedidos	6 d	Mon 02/02/09	Mon 09/02/09	
36		Definir nuevo grupo de trabajo	6 d	Mon 09/02/09	Mon 16/02/09	
37		Seguimiento a pedidos	19 d	Tue 10/02/09	Fri 06/03/09	35
38						
39		<b>☐ Módulo Variadores de Frecuencia (A Peña, H Bonilla)</b>	<b>87 d</b>	<b>Mon 02/02/09</b>	<b>Tue 02/06/09</b>	
40		Probar circuito RS485	6 d	Mon 02/02/09	Mon 09/02/09	
41		Prueba de registros de variador	6 d	Tue 10/02/09	Tue 17/02/09	40
42		Realizar protocolo de comunicación	36 d	Wed 18/02/09	Wed 08/04/09	41
43		Diseño del cableado del bus	12 d	Thu 09/04/09	Fri 24/04/09	42
44		Instalación del cableado	6 d	Mon 27/04/09	Mon 04/05/09	43
45		Pruebas de comunicación	15 d	Tue 05/05/09	Mon 25/05/09	44
46		Implementación PID a los equipos	6 d	Tue 26/05/09	Tue 02/06/09	45

b. Cronograma de actividades segundo semestre año 2009. Ver Figura 55 para todas las actividades planificadas y ver en Figura 56 las actividades de la ruta crítica. Las actividades con demoras fueron: Recibir equipo comprado, pruebas de circuito piloto, soldar estructura, instalación de tubería de acero inoxidable, cableado, calibración e incluir avances de Megaproyecto en portal Web.

Figura 56: Cronograma de actividades segundo semestre año 2009, Megaproyecto Automatización Fase II.

	Actividad	Duración	Inicio	Fin	Dependencias
1	<b>Columna de destilación</b>	<b>104 d</b>	<b>Mon 06/07/09</b>	<b>Thu 26/11/09</b>	
3	<b>Actuadores, sensores de temperatura y lectura refractómetro (B Galindo)</b>	<b>84 d</b>	<b>Tue 07/07/09</b>	<b>Fri 30/10/09</b>	
4	Recibir Equipo (Jl Ovando)	4 d	Tue 04/08/09	Fri 07/08/09	
5	Válvulas de agua (B Galindo)	7 d	Tue 07/07/09	Wed 15/07/09	
6	Válvulas de alcohol (B Galindo)	7 d	Tue 07/07/09	Wed 15/07/09	
7	Leer hojas de datos de sensores (B Galindo)	1 d	Mon 10/08/09	Mon 10/08/09	4,5,6
8	Leer Hoja de datos válvula (B Galindo)	12 d	Mon 10/08/09	Tue 25/08/09	4,5,6
9	Pruebas puntas sensores temperatura (B Galindo)	1 d	Tue 11/08/09	Tue 11/08/09	7
10	Circuito de potencia sensores y válvula (B Galindo)	1 d	Wed 12/08/09	Wed 12/08/09	9
11	Pruebas Válvula (B Galindo)	5 d	Wed 26/08/09	Tue 01/09/09	8
12	Reemplazar simulador (B Galindo)	1 d	Wed 12/08/09	Wed 12/08/09	9
13	AD594 y acondicionador (B Galindo)	8 d	Thu 13/08/09	Mon 24/08/09	12
14	Prueba circuito piloto final (B Galindo)	1 d	Mon 12/10/09	Mon 12/10/09	11
15	PCB circuitos de potencia válvulas solenoides (B Galindo)	9 d	Tue 07/07/09	Fri 17/07/09	
16	Fresar (B Galindo)	9 d	Tue 07/07/09	Fri 17/07/09	
17	Diseño PCB pendiente y su respectivo fresado	5 d	Mon 03/08/09	Fri 07/08/09	
18	Soldar (B Galindo)	23 d	Fri 18/09/09	Tue 20/10/09	
19	Pruebas circuito piloto en columna (B Galindo)	15 d	Mon 27/07/09	Fri 14/08/09	
20	Código de apagado proceso (B Galindo)	7 d	Mon 10/08/09	Tue 18/08/09	22
21	Circuito necesario apagado proceso (B Galindo)	1 d	Wed 19/08/09	Wed 19/08/09	20
22	Aprobación Depto. Química Proceso Apagado (B Galindo)	19 d	Tue 14/07/09	Fri 07/08/09	
23	Calibrar (B Galindo)	15 d	Mon 21/09/09	Fri 09/10/09	54
24	Terminar PCB's (B Galindo)	1 d	Fri 23/10/09	Fri 23/10/09	
25	Fresar toda la estructura y soldar (B Galindo)	1 d	Fri 23/10/09	Fri 23/10/09	
26	Colocar placas columna (B Galindo)	1 d	Fri 30/10/09	Fri 30/10/09	
27	Cableado estructurado (B Galindo)	4 d	Wed 30/09/09	Mon 05/10/09	
29	<b>Control, comunicación e Interfaz de Usuario (R Escobar)</b>	<b>19 d</b>	<b>Wed 30/09/09</b>	<b>Mon 26/10/09</b>	
30	Averiguar sirena (R Escobar)	1 d	Wed 30/09/09	Wed 30/09/09	
31	Comprar sirena (R Escobar)	1 d	Thu 01/10/09	Thu 01/10/09	30
32	Cableado (R Escobar)	1 d	Mon 05/10/09	Mon 05/10/09	54
33	Calibración (R Escobar)	13 d	Wed 07/10/09	Fri 23/10/09	32
34	Lazos de control (R Escobar)	1 d	Mon 26/10/09	Mon 26/10/09	33
35	Terminar comunicación Site Player (R Escobar)	1 d	Fri 02/10/09	Fri 02/10/09	
36	Circuito Potencia sirena (R Escobar)	6 d	Mon 19/10/09	Mon 26/10/09	
37	Fresar y Soldar (R Escobar)	1 d	Fri 23/10/09	Fri 23/10/09	
39	<b>Medición de presión, condensado y alimentación (C Aguirre)</b>	<b>84 d</b>	<b>Tue 07/07/09</b>	<b>Fri 30/10/09</b>	
40	Finalizar la implementación en protoboard de todo el circuito (C Aguirre)	14 d	Tue 07/07/09	Fri 24/07/09	
41	Finalizar la programación del PIC a utilizar (C Aguirre)	14 d	Tue 21/07/09	Fri 07/08/09	
42	Terminal la instalación de los dos tanques y los dos sensores (C Aguirre)	20 d	Mon 10/08/09	Fri 04/09/09	41
43	Finalizar calibración de todos los sensores en base (C Aguirre)	10 d	Mon 05/10/09	Fri 16/10/09	42
44	Calibración del sistema en general. Optimización y mejoras (C Aguirre)	18 d	Wed 30/09/09	Fri 23/10/09	
45	Fresar el circuito en PCB (C Aguirre)	10 d	Mon 19/10/09	Fri 30/10/09	43
47	<b>Parámetros de operación del proceso (JR Moll)</b>	<b>27 d</b>	<b>Wed 07/10/09</b>	<b>Thu 12/11/09</b>	
48	Calibración equipo	13 d	Wed 07/10/09	Fri 23/10/09	54
49	Pruebas preliminares funcionamiento	3 d	Mon 26/10/09	Wed 28/10/09	48
50	Ajustes	6 d	Thu 29/10/09	Thu 05/11/09	49
51	Pruebas finales	5 d	Fri 06/11/09	Thu 12/11/09	50

Continuación figura 56: Cronograma de actividades segundo semestre año 2009, Megaproyecto Automatización Fse II

53		<b>Instalación (Todos)</b>	<b>39 d</b>	<b>Tue 28/07/09</b>	<b>Fri 18/09/09</b>
54		Instalación tubería INOX (Todos)	39 d	Tue 28/07/09	Fri 18/09/09
56		<b>Protocolo y trámites (Todos)</b>	<b>104 d</b>	<b>Mon 06/07/09</b>	<b>Thu 26/11/09</b>
57		Presentación protocolo y papelería	20 d	Mon 06/07/09	Fri 31/07/09
58		Trabajo de graduación primera revisión en formato electrónico	1 d	Fri 16/10/09	Fri 16/10/09
59		Trabajo de graduación con correcciones entrega impresa con copia asesor	1 d	Wed 28/10/09	Wed 28/10/09
60		Trabajo de graduación individual encuadernado	10 d	Thu 29/10/09	Wed 11/11/09
61		Reporte consolidado final	1 d	Fri 13/11/09	Fri 13/11/09
62		Defensa de Megaproyecto	1 d	Mon 16/11/09	Mon 16/11/09
63		Presentación pública Megaproyecto	1 d	Thu 26/11/09	Thu 26/11/09
65		<b>Planificación y presupuesto (JJ Ovando)</b>	<b>89 d</b>	<b>Tue 21/07/09</b>	<b>Fri 20/11/09</b>
66		Realizar últimas compras de Megaproyecto	14 d	Tue 21/07/09	Fri 07/08/09
67		Incluir avances en portal de Megaproyectos	2 d	Thu 08/10/09	Fri 09/10/09
68		Planificar feria de Megaproyectos	12 d	Wed 30/09/09	Thu 15/10/09
69		Costo total Megaproyecto	10 d	Tue 06/10/09	Mon 19/10/09
70		Preparar video para presentación final	4 d	Tue 20/10/09	Fri 23/10/09
71		Coordinar presentación final Megaproyecto	10 d	Mon 09/11/09	Fri 20/11/09

Figura 57: Actividades críticas de Megaproyecto Automatización Fase II.

	Actividad	Duración	Inicio	Fin	Dependencias
1	<b>Columna de destilación</b>	<b>84 d</b>	<b>Tue 07/07/09</b>	<b>Fri 30/10/09</b>	
3	<b>Actuadores, sensores de temperatura y lectura refractómetro (B Galindo)</b>	<b>69 d</b>	<b>Tue 07/07/09</b>	<b>Fri 09/10/09</b>	
4	Recibir Equipo (JJ Ovando)	4 d	Tue 04/08/09	Fri 07/08/09	
5	Válvulas de agua (B Galindo)	7 d	Tue 07/07/09	Wed 15/07/09	
6	Válvulas de alcohol (B Galindo)	7 d	Tue 07/07/09	Wed 15/07/09	
7	Pruebas puntas sensores temperatura (B Galindo)	1 d	Thu 16/07/09	Thu 16/07/09	
8	Calibrar (B Galindo)	15 d	Mon 21/09/09	Fri 09/10/09	26
10	<b>Control, comunicación e Interfaz de Usuario (R Escobar)</b>	<b>15 d</b>	<b>Mon 05/10/09</b>	<b>Fri 23/10/09</b>	
11	Cableado (R Escobar)	1 d	Mon 05/10/09	Mon 05/10/09	26
12	Calibración (R Escobar)	13 d	Wed 07/10/09	Fri 23/10/09	11
14	<b>Medición de presión, condensado y alimentación (C Aguirre)</b>	<b>84 d</b>	<b>Tue 07/07/09</b>	<b>Fri 30/10/09</b>	
15	Finalizar la implementación en protoboard de todo el circuito (C Aguirre)	14 d	Tue 07/07/09	Fri 24/07/09	
16	Finalizar la programación del PIC a utilizar (C Aguirre)	14 d	Tue 21/07/09	Fri 07/08/09	
17	Terminal la instalación de los dos tanques y los dos sensores (C Aguirre)	20 d	Mon 10/08/09	Fri 04/09/09	16
18	Finalizar calibración de todos los sensores en base (C Aguirre)	10 d	Mon 05/10/09	Fri 16/10/09	17
19	Calibración del sistema en general. Optimización y mejoras (C Aguirre)	18 d	Wed 30/09/09	Fri 23/10/09	
20	Fresar el circuito en PCB (C Aguirre)	10 d	Mon 19/10/09	Fri 30/10/09	18
22	<b>Parámetros de operación del proceso (JR Moll)</b>	<b>13 d</b>	<b>Wed 07/10/09</b>	<b>Fri 23/10/09</b>	
23	Calibración equipo	13 d	Wed 07/10/09	Fri 23/10/09	26
25	<b>Instalación (Todos)</b>	<b>39 d</b>	<b>Tue 28/07/09</b>	<b>Fri 18/09/09</b>	
26	Instalación tubería INOX (Todos)	39 d	Tue 28/07/09	Fri 18/09/09	
29	<b>Planificación y presupuesto (JJ Ovando)</b>	<b>65 d</b>	<b>Tue 21/07/09</b>	<b>Mon 19/10/09</b>	
30	Realizar últimas compras de Megaproyecto	14 d	Tue 21/07/09	Fri 07/08/09	
31	Costo total Megaproyecto	10 d	Tue 06/10/09	Mon 19/10/09	11

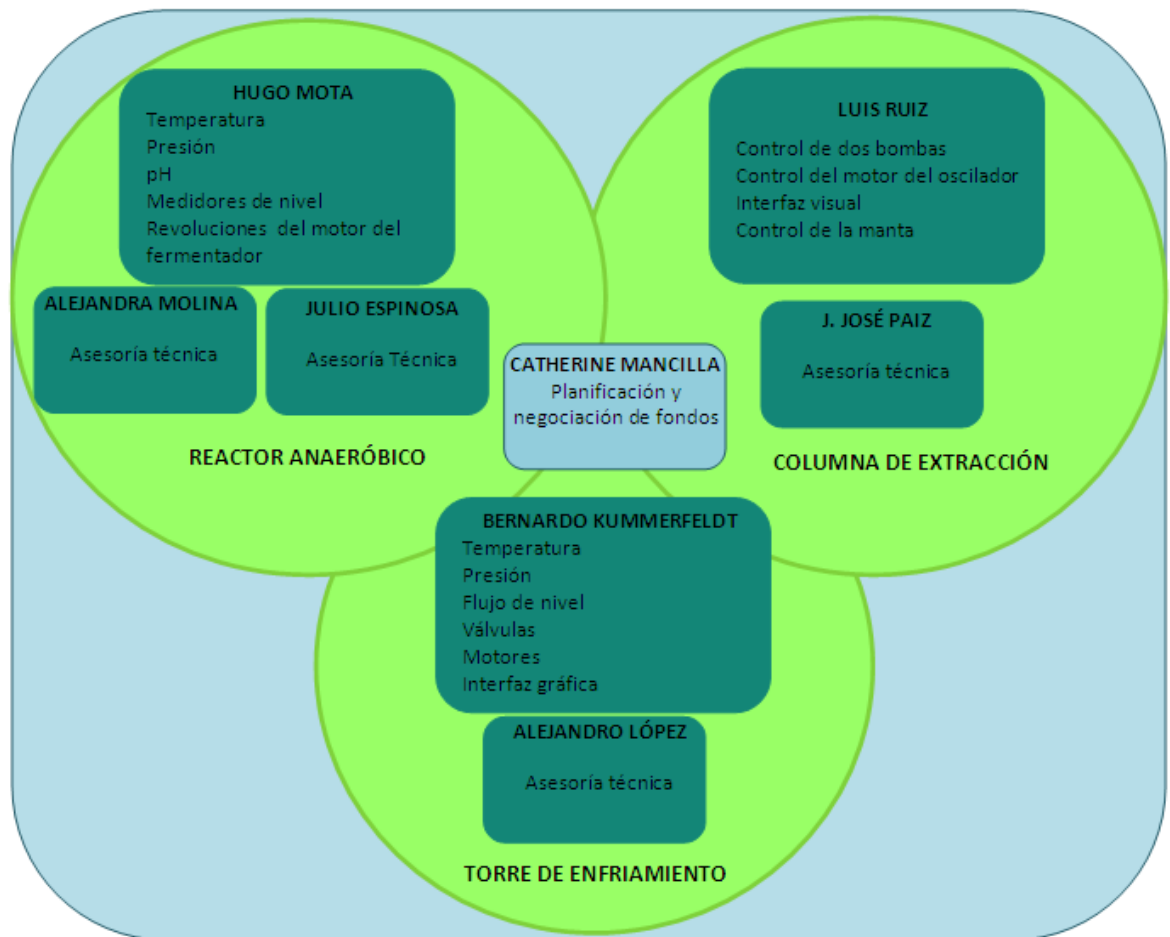
c. Seguimiento de compras de equipo desde aprobación de cotizaciones en los departamentos de Ingeniería Química e Ingeniería Electrónica, hasta el despacho de materiales y equipo de los proveedores a la UVG. Existieron demoras en compras locales e internacionales. En el primer semestre del 2009 las demoras fueron de aproximadamente 2 semanas, mientras que en el segundo semestre fueron de 3 semanas aproximadamente.

d. Lista de actividades críticas por módulo a cumplir por semana, compartida vía correo electrónico al grupo de trabajo del Megaproyecto. Esto permitió un mejor

control de las actividades a cumplir por módulo cada semana.

- e. Diagrama de bloques de Megaproyecto automatización fase III y tema de trabajo definido. (Ver Figura 57).

Figura 58: Diagrama de bloques Megaproyecto automatización fase III



- f. Creación del módulo de planificación del Megaproyecto fase III, realizando transición de objetivos a estudiante de Ingeniería Industrial (Catherine Mansilla), como responsable de dicho módulo.

3. Finalización y presentación de resultados

- Pedidos de equipo ejecutados al 100%, con demoras en los tiempos de entrega. Demoras de hasta 3 semanas.
- El costo total del Megaproyecto difiere en un 0.8% positivo con el presupuesto inicial planteado.

C. Diseño y elaboración de presentación electrónica y video para presentación pública de Megaproyecto, como parte de la coordinación de la misma. Se siguieron los siguientes parámetros a presentar:

- Grupo de trabajo
- Módulos
- Antecedentes: Primera fase de automatización
- Columna de destilación
- Diseño experimental y resultados
- Discusión
- Video: Objetivo general, cómo se logra y visualización. Ver la columna en funcionamiento.
- Conclusiones
- Mostrar columna de destilación en funcionamiento en laboratorio de operaciones unitarias.

## VIII. DISCUSIÓN GLOBAL

En la primera sección se procedió a dividir la torre de destilación en cuatro secciones: el calderín, la columna de destilación, el condensador y el tanque de alimentación, con lo cual se pudo evaluar la automatización de dichas partes individualmente y establecer cómo impactan en el sistema total.

El lazo de control del calderín posee dos modos de operación: el primero por medio del ingreso de presión en el cual se manejará la presión de 0-15 psig, en este sistema se busca que la presión de alimentación de vapor se mantenga constante que inicialmente se controlaba por medio de un barómetro el cual variaba a lo largo del proceso y el usuario se encargaba de tratar de mantener esta por medio de una válvula de globo, por lo cual se colocó la válvula proporcional que permitirá que el sistema se autorregule.

El otro lazo de control en el calderín es el del calor que está ingresando al mismo con lo cual utiliza el condensado saliente del vapor para estimar el calor proporcionado al proceso. De igual forma el rango de operación de la presión es de 0-15 psig.

El lazo de control para la alimentación trabaja en un rango de operación de 0.0 - 5.0 L/h. En un inicio el sistema no presentaba regulación sino se colocaba en el tanque la mezcla hasta arriba de la torre de destilación, abriendo una llave de bola, por lo cual se realizaba estimaciones del consumo.

En el caso del condensador con anterioridad no sé tomaba en cuenta el calor extraído del mismo, pero con la instalación de los sensores se podrá cuantificar el mismo. Por otro lado en la línea principal de reflujo se cambió el rotámetro manual al electrónico los cuales trabajaban entre 0.0- 5.0 L/h.

La línea secundaria de reflujo es utilizada para reflujar hacia cualquier plato a excepción del primer plato, se instaló un rotámetro manual para determinar la cantidad de flujo que se utilizará en ella, de igual manera maneja un flujo de 0.0 – 3.0 L/h.

En la columna de destilación se leerán la temperatura y la composición de la fase líquida, de cada plato. El objetivo de realizar la medición de la composición de la fase líquida es poder determinar la curva de operación de la torre de destilación, por lo cual se saca una muestra del plato aproximadamente de unos 20 a 30 mL, por medio de una válvula solenoide.

Para obtener la muestra se instaló un sistema de muestreo el cual cuenta con una chaqueta de agua fría entre 20°C y 24 °C, para provocar la condensación debida a la destilación de simple efecto provocada con la apertura de la válvula de muestreo del plato.

La muestra llega al dispositivo del refractómetro el cual determina el índice de refracción y la temperatura con un sensor. Con los cuales por medio de la tabla de índice de refracción y temperatura se obtienen la concentración de la muestra. Se debe destacar que no se realizó un sistema de control con el refractómetro debido a que para esto se debería de realizar muestreos frecuentes, peligrando que se realice un vaciar totalmente del plato con lo cual incurrir en riesgos innecesarios.

La composición de la fase gaseosa se determinará por el equilibrio de vapor líquido, EVL, para lo cual se utiliza el valor de la composición de la fase líquida y la temperatura del plato. No se realizó la medición de la composición de esta fase debido al riesgo que implica la utilización de válvulas solenoides con la presencia de vapor de etanol. Por lo cual se debía instalar un sistema a prueba de explosiones el cual consiste en la utilización de válvulas neumáticas alimentadas de aire por medio de válvulas solenoides las cuales se encuentran en un área segura. Pero la implementación de este sistema era de alto costo por lo cual se descartó, además se debía llevar a cabo la medición de la composición por medio de cromatografía de gases, la cual es de un alto costo.

Debido a que el proceso que se automatizó requiere de precauciones para evitar accidentes por la naturaleza inflamable de las soluciones que se utilizan, es vital tener un alto grado de efectividad y precisión al actuar. Se presentó el desafío de la ejecución correcta de las instrucciones comunicadas a los actuadores involucrados. Este desafío se afrontó utilizando un algoritmo de chequeo por redundancia cíclica para la transmisión de los datos. El algoritmo utilizado se basa en el uso de la operación entre bits de suma exclusiva, básicamente la idea es que el transmisor ejecuta la operación con todos los datos que envía y el receptor, al recibir la información ejecuta la misma operación, si las respuestas coinciden se toman como válidos los datos, y pasan a ser instrucciones a realizar, contrario a esto es que las respuestas no coinciden por lo que los datos son desechados ya que no se puede garantizar la integridad de los mismos. Con esta implementación se reducen las probabilidades de recibir datos erróneos, siempre se puede dar el caso, pero la probabilidad es muy baja.

Para la medición de presión interna de la columna de destilación se utilizaron sensores con salida eléctrica 4-20 mA, esto con el objetivo de minimizar el ruido eléctrico causado por las caídas de voltaje o efecto electromagnético entre líneas de transmisión. El circuito se conforma de tres bloques principales. El primer bloque es un convertidor de corriente a voltaje. Este convertidor es básicamente una resistencia conectada a tierra, que la hacer pasar la corriente proveniente del sensor produce un potencial eléctrico que luego es invertido por el segundo bloque del circuito, un inversor. Este inversor es parte del amplificador y linealizador que le sigue. El circuito linealizador permite mapear la ecuación de un circuito a una regresión lineal deseada. Es decir, que permite pasar de una escala de 8mV – 80mV a 0 – 5V.

Para la instalación de los sensores en la columna de destilación se utilizo un sifón. Este sifón es un estándar generalizado para las mediciones de presión a nivel industrial, ya que además de mejorar la medición, protege el diafragma interno del sensor.

Para el sensor del décimo plato de la columna de destilación (parte baja de la columna) se utilizo un pie mojado. Esta medida se implemento debido a que la temperatura que puede alcanzar el vapor proveniente de la trampa de vapor es de hasta 130°C. Dicha temperatura pondría al límite de su funcionamiento al sensor, y reduciría considerablemente su vida útil, así como la exactitud de la medición. La medición de flujo de vapor condensado se hizo a través de la implementación de un tanque contenedor de 20 cm de diámetro por 33 cm de alto, con una capacidad volumétrica de 10.36 L.

La razón de este tanque es dar al sistema de medición independencia total del flujo proveniente de la trampa de vapor, ya que aunque caigan gotas (0.01L/min) o un flujo más grande (7L/min), el sistema tendrá la capacidad de contener el volumen y medirlo, además de registrar a que ritmo cambia en el tiempo (L/min). Estas dos atribuciones del sistema fueron posibles gracias al algoritmo implementado en el microcontrolador de la familia 18F4523.

El sistema de medición de flujo de alimentación únicamente tiene un modo de funcionamiento (vaciado) ya que se espera que la columna empiece a funcionar con un volumen inicial de mezcla, el cual será cuantificado rápidamente por este sistema de medición. El sistema de medición es capaz de detectar si existe un gradiente negativo (vaciado) o positivo (de llenado), con el fin de brindar al usuario una noción de lo que está sucediendo realmente dentro del sistema, y en dado caso brindar una notificación antes de que dicho tanque llegue a quedarse sin mezcla de alimentación en plena operación.

En el microcontrolador de sensores de temperatura y refractómetro se utilizaron dos ideas para programar la lectura de cada uno de los parámetros de interés. Para los termopares (sensores de temperatura) se utiliza un multiplexor (selector de datos) analógico que permite compartir un único canal de conversión analógica a digital, el motivo de realizarlo así fue el de reducir y optimizar el hardware (circuitería) requerido. Se utilizó circuitos integrados especializados (AD594) para la amplificación y linealización de la señal de voltaje producida por el termopar, es mejor utilizar componentes a los cuales los fabricantes le han invertido tiempo, dinero e ingeniería que construir uno propio. Lo que sí se diseñó y construyó es el circuito acondicionador común a todos los termopares que agranda la ventana de la señal de voltaje para que pueda ser aprovechado al máximo la ventana del convertidor analógico a digital.

Para el microcontrolador de válvulas proporcionales se implementaron dos ideas, cada una controla un tipo de válvulas, se utilizan pulsos del mismo ancho que representan pasos para las válvulas proporcionales Aalborg con actuador de motor “stepper” (motor de pasos) y una señal modulada por ancho de pulso para la válvula proporcional marca Asco.

Para las válvulas Aalborg se implementó código que cumpliera con las características de control de estas válvulas como ya fue mencionado en secciones anteriores. El principal motivo de discusión para este apartado es la utilización de pulsos para el control de los actuadores eléctricos de este tipo de válvulas. Se trabajó con pulsos de mismo ancho debido a la naturaleza del actuador de estas válvulas (motores de pasos), a fin de lograr una relación entre un pulso y una cantidad determinada de pasos del motor. De esta manera es fácil comparar y determinar la posición actual y el número de pasos que se deben dar para llegar a la nueva posición deseada.

Para la válvula proporcional Asco se implementó código que genera una señal modulada por amplitud de pulsos, esto permite controlar la energía que se le entrega al equipo, colocando el valor promedio de los pulsos como una señal analógica que controla el actuador eléctrico de la válvula.

Esta válvula por ser de otro fabricante ofrece una línea de retroalimentación con una señal de voltaje analógica, esta línea es leída periódicamente por el microcontrolador (con una frecuencia de muestreo constante) para la ejecución de un controlador PID digital programado en el microcontrolador, con esto se garantiza que la posición de la válvula es la deseada por el operario del proceso.

En el microcontrolador esclavo de válvulas solenoides, estos actuadores se controlan de la misma forma que se hace en los controladores de lógica programable (PLC por sus siglas en inglés), es decir, por medio de una línea o bit. La única diferencia en el código es entre las válvulas de toma de muestra y todas las demás. Para las válvulas de toma de muestra se utiliza un byte completo y por códigos se determina cual es la que se debe accionar. Todas las demás válvulas solenoides son controladas con un bit, esto debido a que no importa si se accionan todas al mismo tiempo, de hecho se debe de presentar la opción de que todas se puedan habilitar al mismo tiempo. Las válvulas para toma de muestra no deben de presentar esta opción ya que comparten tubería y si se abre más de una al mismo tiempo las muestras se mezclarían y el refractómetro reportaría datos erróneos.

A pesar de los buenos resultados que se obtuvieron en el circuito convertidor a protocolo balanceado durante la prueba con el motor trifásico, este circuito pudo haber sido mucho más robusto. El circuito presentado envía el dato y su negado (lógicamente), es decir cuando se desea enviar un uno lógico en el primer conductor se envía 5 voltios y en el segundo conductor se envía un cero y viceversa. Una solución más robusta hubiese sido usar con un uno lógico 5 voltios y para un cero -5. Entonces en vez de enviar por el segundo conductor su negado enviar su voltaje lógico invertido (-5 voltios) y viceversa. La gran ventaja de este método es que, según la ley de Lenz, el campo eléctrico inducido por el primer conductor sería cancelado por el campo eléctrico del segundo conductor; esto se debe a que las corrientes de ambos conductores poseen la misma magnitud pero distinto sentido. Este sistema no fue desarrollado por los muy buenos resultados que mostró el circuito original, pero puede ser desarrollado como mejora en caso se considere necesario.

En la comunicación entre micro-controladores se está utilizando CRC, el cual ocupa un byte de la trama total de comunicación de cada micro-controlador. A pesar que este sistema de verificación de datos en una comunicación es bastante confiable, no se puede garantizar 100% la validez de todos los datos recibidos, ya que existen muchas combinaciones de distintos valores de los datos los cuales puede llegar a dar el valor de CRC esperado. También hay que tener en cuenta que los valores de CRC posibles durante la comunicación varían entre 0 y 253. La mejor manera de llegar a ser más robusto este sistema es aumentar la cantidad de bits de verificación, lo cual disminuyera las posibles combinaciones que logran que el cálculo de CRC con el CRC enviado conocida.

Se considero que un byte era más que suficiente para la comprobación de la validez de los datos, ya que la distancia entre micro-controladores no es muy grande, además en cada transmisión de datos se utiliza dos bytes adicionales los cuales son principio y fin de trama, estos son verificados en toda

transmisión y recepción de datos para sincronizar los bytes en sus posiciones de la trama, lo cual hace una verificación adicional.

Con el objetivo de hacer más robusto el sistema SPI, este protocolo no es la única manera en que el micro-controlador maestro se comunica con los dos micro-controladores de válvulas. Además del protocolo SPI, se utilizan dos bits físicos los cuales corresponde con uno que informa cuando las válvulas ya están colocadas en la posición deseada y otro el cual sirve para que el micro-controlador maestro informe cuando se entra en secuencia de apagado. Esto se realizó así ya que esta secuencia de apagado pudo ser ocasionada por un error de comunicación, entonces sí fue un error de esta índole SPI no es la mejor manera de informarle a estos micro-controladores que cierren las válvulas.

En general el micro-controlador maestro hace operaciones simples lo cual era de esperarse ya que estos dispositivos no están diseñados para llevar a cabo operaciones matemáticas muy complejas. Entre las pocas operaciones matemáticas complicadas que realiza este micro-controlador es el cálculo de volumen total de condensado, en realidad los operadores matemáticos no son el problema. El problema radica en que el micro-controlador no cuenta con una unidad de procesamiento de punto flotante, lo cual forzó redondear los números utilizados para deducir el procesamiento implicado en cada calculo, por lo cual se espera una perdida precisión en el cálculo de volumen de vapor condensado.

La predicción de los datos de operación consistió en la elaboración de un simulador que diseña una torre de destilación para una mezcla binaria en este caso etanol-agua. Su principal beneficio es permitir conociendo ciertos parámetros de operación que puede ser utilizado en cualquier sistema real en el cual se debe idealizar como si fuese una mezcla binaria.

La curva de equilibrio presentó dificultades en la estimación de los coeficientes de actividades se inició por el método NRTL, pero para éste se debe utilizar coeficientes particulares para la mezclas, los cuales no fueron encontrados en la bibliografía, se emigró al método UNIFAC, la decisión de utilizarlo se basó en que este sistema permite tomar cualquier mezcla de compuestos, puesto toma en cuenta las interacciones que existen entre los grupos funcionales presentes en las moléculas.

La cantidad de reflujo óptimo se inició el cálculo utilizando los valores directos de plato mínimos y reflujo minino, pero tendrían ser inconstantes y se acercaban a los valores asintóticos, con lo cual se salía de control la predicción de los datos causando un error, con el sistema que se utilizó se evita el acercamiento a esos puntos además de permitir encontrar el balance entre ambas variables, lo cual repercute en los costos del equipo.

Los parámetros experimentales le proporcionan al usuario los datos que necesita interpretar con facilidad, debido a que los valores brindados por el sensor son tratados para obtener estos datos, la importancia de esto es que las variables como tal no pueden decir si estamos cerca o lejos, de un comportamiento específico o no. Debido a esto se generó la aplicación que permites una mejor visualización de los parámetros de operación experimentales y ideales, en la cual se pueden observa

diagramas de operación reales y teóricos, facilitando el análisis del usuario. Las pruebas de arranque se inicio con la calibración de los accesorios e instrumentación electrónica.

El problema fundamental que se encontró en la realización de la interfaz web para el monitoreo de variables y manejo a distancia de los sistemas automatizados fue el hecho de interconectar sistemas desarrollados de forma independiente, por diferentes personas, y usando diferente tecnología. Este es un problema que los integradores de sistemas deben de resolver siempre.

Se tomó como referencia el modelo OSI para comunicación de redes y se trato de abstraer de la misma forma la complejidad de cada capa. Este proceso facilitó además, la planificación de actividades de desarrollo, ya que sentó la base de la modularización de la interfaz web.

Bajo este modelo se tomó como entrada de la capa física las señales eléctricas que los microcontroladores envían. A lo largo del flujo de datos sobre el proyecto se implementaron las siguientes capas, agregándole complejidad, pero a la vez robustez a la transmisión de la información.

Fue muy importante para el este módulo establecer un lenguaje persistente en todo el proyecto. Este lenguaje, fue el protocolo el cual es descrito dentro de un XML, y es en éste formato como fluye la información hasta la capa de aplicación. Incluso los servicios web, devuelven estructuras de XML similares a las utilizadas dentro del proyecto.

Acerca de la planificación general del Megaproyecto, en la primera etapa del Módulo de Planificación se realizó toda la organización general del Megaproyecto, se elaboró un diagrama de responsabilidades (bloques) con el objetivo de dividir al grupo de trabajo por módulos y cumplir con cada uno de los objetivos del Megaproyecto Como parte de la Etapa 1, también se creó la imagen del Megaproyecto, diseñando un logo representativo con la ayuda del Webmaster de UVG, Paolo Mellini. Se consideraron los factores de representatividad de la parte química y electrónica del Megaproyecto en el logo. La parte química es representada con la figura de la columna de destilación dibujada por la señal de comunicación inalámbrica azul del logo. La parte electrónica se representa con la misma señal de comunicación antes mencionada, la cual muestra el control automatizado de la columna.

Adicional a lo anterior se realizó el diseño de una manta publicitaria, la cual se utilizó en dos eventos importantes: Feria de Ciencia y Tecnología y Feria de Megaproyectos. Ambos diseños, logo y manta, se elaboraron en Adobe PhotoShop. El objetivo de la manta fue mostrar los objetivos a cumplir en el Megaproyecto de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias Fase II, por lo tanto se mostró el objetivo general del Megaproyecto, el equipo a instalar y una breve descripción del control sobre los equipos y la interfaz de usuario.

Como parte de la primera etapa, también se elaboró el presupuesto necesario para cumplir los objetivos del Megaproyecto. Dicho presupuesto se elaboró tomando un estimado de los equipos a instalar en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, así como todas las herramientas y materiales necesarios. Este presupuesto se utilizó en la solicitud de fondos a CONCYT, la cual fue rechazada debido al poco impacto del Megaproyecto fuera del ámbito de la UVG. Por lo tanto los fondos del Megaproyecto fueron cubiertos por los departamentos de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Química.

En la segunda etapa del Módulo de Planificación se elaboraron cronogramas de actividades semestrales para ambos semestres del año 2009, se utilizó Microsoft Project como herramienta, ya que permite una mejor visualización en diagramas de Gantt de las actividades por módulo, así como las actividades críticas de los mismos. En el primer semestre no se ejecutaron a tiempo las actividades: nuevos pedidos y seguimiento de pedidos. Esto atrasó el Megaproyecto en aproximadamente dos semanas, en dicho semestre.

Las compras de equipo fueron una oportunidad a lo largo del Megaproyecto. Las demoras de los artículos solicitados impactaron negativamente en el cumplimiento de la planificación de actividades. Las compras de equipos se demoraron debido principalmente al proceso lento de compra: cotización del departamento, aprobación del departamento, solicitud de compra al departamento de compras, justificación de la compra al departamento de compras, aprobación por el departamento de compras, realización de orden de compra, confirmación de la cantidad en la cuenta monetaria y despacho de equipo.

Se recomienda, para futuros Megaproyectos, el manejo independiente de cuentas por medio de un traslado de los departamentos involucrados a una cuenta del Megaproyecto manejada por el Módulo de Planificación. Esto permitirá las compras directamente con los proveedores y evitará las demoras en el proceso antes descrito. El resto de módulos no tuvo demora en sus actividades. En el primer semestre el impacto fue de aproximadamente dos semanas de retraso.

El cronograma de actividades del segundo semestre muestra solamente las actividades de los módulos pertenecientes a la automatización de la columna de destilación, ya que el módulo variadores de frecuencia trabajó independientemente desde el segundo semestre del año 2009.

Antes de comprender las razones de demora del segundo semestre del 2009, se analizaron las actividades críticas y la mayoría coincidieron con aquellas que no se cumplieron a tiempo como lo fueron recibir el equipo comprado, instalación de tubería, cableado y calibración. Por lo tanto la causa raíz de las demoras se debió al despacho con demora de los equipos comprados, esto atrasó el Megaproyecto en tres semanas, por la necesidad de tubería a instalar y equipo electrónico a programar, actividades críticas que se vieron afectadas por dicho atraso. La inclusión de avances de Megaproyecto en el portal también se atrasó debido a las demoras en equipos solicitados, ya que la columna de destilación, físicamente, no mostraba los avances necesarios a mostrar en el portal de megaproyectos. En el cronograma se ven actividades en color negro, debido a que aún no se cumplen los tiempos de planificación al momento de escribir el presente informe.

El módulo de planificación, ante la necesidad del resto de módulos por claridad de objetivos a cumplir, se compartió cada inicio de semana las actividades a cumplir por módulo, incluyendo fecha límite. Esto se realizó vía correo electrónico y mejoró significativamente la comunicación del grupo de trabajo. Adicional a lo anterior, se llevaron a cabo reuniones informativas y de avances una vez a la semana, lo cual ayudó a resolver en conjunto cualquier problemática en el desarrollo de las actividades.

Finalmente, en la segunda etapa se creó la Fase III de Automatización de Operaciones Unitarias, para ello se realizó una comunicación a estudiantes de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Química e

Ingeniería Industrial. Por lo que se realizaron charlas en curso de estudiantes de cuarto año de dichas carreras, informándoles acerca de los beneficios del trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto. El resultado de la comunicación se ve reflejado en el grupo de trabajo conformado. Para entender el tema a desarrollar del Megaproyecto fase III y los módulos necesarios mostrados en el diagrama de bloques, se realizó una visita al laboratorio de operaciones unitarias con el nuevo grupo de trabajo y encargados de dicho laboratorio, con el objetivo de identificar los equipos necesarios a automatizar que en un inicio fueron: reactores fermentadores y columna de extracción. Posteriormente se incluyó la torre de enfriamiento como parte de la fase III de automatización.

Se creó el módulo de planificación de la fase III del Megaproyecto, realizando una transición de objetivos a cumplir y expectativas de dicho módulo a Catherine Mansilla, estudiante de Ingeniería Industrial a cargo del módulo. La transición se realizó compartiendo los reportes del Módulo de Planificación Fase II y explicando la función de dicho módulo y las tareas a cumplir cada semana.

En la tercera etapa y última desarrollada por el Módulo de Planificación se ejecutaron al 100% los pedidos pendientes de equipo, el atraso en la entrega de los mismos se debió al lento proceso de compra como se discutió con anterioridad.

El costo total del Megaproyecto difiere del presupuesto inicial en un 0.8% positivo. Este costo incluye todo el material y equipo comprado y considera el tiempo de mano de obra de los estudiantes, el ahorro se debió principalmente a la elección adecuada de proveedores en la compra de materiales y equipo.

Al final de la Etapa 3 del módulo de planificación se elaboró material de presentación adicional. Para la Feria de Megaproyectos se elaboró en Flash Player una presentación mostrando los objetivos de los módulos, fotos de los avances y equipo instalado a la columna de destilación. Además se coordinó la presentación del Megaproyecto con el diseño de la invitación pública. Por último se elaboró en Flash Player un breve video mostrando los resultados finales del Megaproyecto y el cumplimiento de objetivos del mismo.

## IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. Generales

1. Se instalaron 13 sensores de temperatura, distribuidos de la siguiente forma: 10 en los platos de la columna de destilación, 2 en la entrada y salida de agua del condensador y uno en el depósito del refractómetro.
2. Se colocaron 4 sensores de presión, distribuidos en la alimentación de vapor al calderín, en el tanque de condensado, en el tanque de alimentación y en la columna de destilación.
3. Las 27 válvulas solenoides fueron instaladas de la siguiente manera, 10 en la alimentación de los platos, 10 en la toma de muestra de los platos, en el descarte de muestra del refractómetro, en la alimentación de agua de limpieza del sistema de muestreo al refractómetro, en la alimentación de aire de limpieza al sistema de muestreo, en el descarte de condensados, en la alimentación de agua al condensador, en la línea principal de reflujo, en la línea secundaria de reflujo.
4. La instalación de tres válvulas promocionales distribuidas en la alimentación de vapor al calderín, en la línea de alimentación a la columna de destilación y en la línea principal de reflujo para separar del destilado.
5. Se colocó un rotámetro electrónico en la línea principal de reflujo, el cual establece un sistema de control con la válvula que permite el descarte del destilado para manejar el flujo del mismo.
6. El refractómetro se instaló en la fase final del sistema de muestreo, midiendo el índice de refracción se estimara la concentración de la fase líquida.

### B. Específicos: Por módulo

1. El módulo de parámetros de operación utilizó el método de Ponchon-Savarit que permite que se realice una estimación de los platos ideales, de la columna de destilación, para lo cual el usuario debe ingresar el flujo de alimentación, la concentración de la alimentación, temperatura de la alimentación, concentración del destilado, concentración del residuo y presión el valor de platos deseado. Además los datos experimentales se obtienen de la curva real de operación de la torre de destilación.
2. El módulo actuadores, sensores de temperatura y lectura de refractómetro construyó un circuito que controla todo el equipo adquirido y se programó los microcontroladores esclavos para implementar el protocolo completo de comunicación serial que se utiliza entre los tres microcontroladores esclavos y el microcontrolador maestro.



3. El módulo actuadores, sensores de temperatura y lectura de refractómetro recomendó a la universidad el equipo necesario para llevar a cabo la automatización de la columna de destilación, los equipos son: válvulas solenoides para alcohol y agua, válvulas proporcionales para alcohol y vapor, termopares y los componentes electrónicos necesarios para armar los circuitos de potencia que necesita cada actuador y sensor.
4. El módulo medición de presión interna, volumen y flujo de vapor condensado y alimentación logró medir la presión interna de la columna de destilación en el décimo y primer plato a través del uso de sensores de presión de 4-20mA como salida eléctrica, procesando y transmitiendo los datos a través de un microcontrolador de la familia PIC18F4523.
5. El módulo medición de presión interna, volumen y flujo de vapor condensado y alimentación logró también la medición de vapor condensado a través de un tanque contenedor de 10.4 Litros de capacidad volumétrica, mediante el cual se logró medir el flujo proveniente de la trampa de vapor y el volumen total de vapor que haya pasado a través de él.
6. El módulo medición de presión interna, volumen y flujo de vapor logró la medición de flujo de alimentación utilizando un tanque con capacidad volumétrica de 23.6 Litros en el cual se depositó la mezcla que alimentaría la columna, pudiendo registrar el volumen total en el interior del tanque y los cambios por unidad de tiempo (caudales) que se registraban en tiempo real.
7. El módulo control, comunicación e interfaz de usuario desarrolló un micro-controlador maestro capaz de comunicarse con los demás controladores y se puede garantizar en un alto porcentaje la confiabilidad de los datos recibidos.
8. El módulo interfaz web para el monitoreo de variables y manejo a distancia de los sistemas automatizados estableció un protocolo de comunicación entre microcontroladores y siteplayer. Este protocolo fue adoptado por los módulo de columna de destilación y debe de ser adoptado por todos los módulos que se integren al sistema.
9. El módulo de planificación y presupuesto desarrolló cronogramas semestrales de actividades y el seguimiento de los mismos, brindaron un control adecuado del rol de cada integrante del Megaproyecto y mostraron visibilidad de los avances significativos del mismo.
10. El módulo de planificación y presupuesto recomienda para futuros Megaproyectos el manejo independiente de cuentas para las compras directas con proveedores. Esto es posible mientras los Megaproyectos no sean financiados por UVG o el CONCYT.



## X. BIBLIOGRAFÍA

### Módulo de parámetros de operación del proceso:

Levine, I. 2004. *Fisicoquímica*. Quinta Edición. McGraw-Hill. España. Volumen I

McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, P. 2007. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Séptima Edición. McGraw-Hill. México. 2007. pp 675 a la 770.

Perry, R., Chilton, C., 1973, *Chemical Engineer's Handbook*. Quinta Edicion. McGraw-Hill, New York. Cap 13.

Smith, J. M.; Van Ness C.; Abboy, L. M. 2007. *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*. Séptima Edición. McGrawHill. Mexico. pp 338 a la 482.

Treybal, Robert. 1988. *Operaciones de Transferencia de Masa*. Segunda Edición. McGrawHill. México. pp 378 a la 528.

Washburn, E.W. (1926 - 1930;2003). *International Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Technology* (1st Electronic Edition). Knovel. [http://knovel.com/web/portal/browse/display?\\_EXT\\_KNOVEL\\_DISPLAY\\_bookid=735&VerticalID=0](http://knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=735&VerticalID=0)

### Módulo de actuadores, sensores de temperatura y lectura de refractómetro:

*Automatización de Procesos Industriales*. [En línea] febrero de 2004. [Citado el: 24 de noviembre de 2008.] <http://www.vc.ehu.es/campus/centros/peritos/deptos-p/depsi/jg/API.pdf>.

*Chapter 14 Cyclic Redundancy Check*. [En línea] [Citado el: 11 de mayo de 2009.] <http://www.hackersdelight.org/crc.pdf>.

*Comunicación Serial*. Universidad Antonio Nariño. [En línea] [Citado el: 24 de noviembre de 2008.] [http://www.geocities.com/micros\\_uan/cap47.html](http://www.geocities.com/micros_uan/cap47.html).



Doctor ProAudio, *Formas de transporte de*

*señal: Balanceado*

[Documento en línea] Disponible en: <http://www.doctorproaudio.com/doctor/temas/balanceado.htm>

[Visitado en: Junio, 2009]

*Intrinsic Safety*. [En línea] 2007. [Citado el: 9 de febrero de 2009.]  
<http://www.omega.com/temperature/z/pdf/z131-148.pdf>.

López, E., *Ingeniería en Microcontroladores - Protocolo SPI*. [En línea] [Citado el: 24 de noviembre de 2008.] <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>.

Medrano, S., *Termopares*. [En línea] [Citado el: 24 de noviembre de 2008.]  
<http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-07-TC.pdf>.

*SPI communications between PICS*. [En línea] [Citado el: 2 de julio de 2009.]  
[http://hades.mech.northwestern.edu/wiki/index.php/SPI\\_communication\\_between\\_PICs](http://hades.mech.northwestern.edu/wiki/index.php/SPI_communication_between_PICs).

*Trama de red*. [En línea] 2007. [Citado el: 2 de marzo de 2009.]  
[http://www.babylon.com/definition/trama\\_de\\_red/Spanish](http://www.babylon.com/definition/trama_de_red/Spanish).

*Válvulas distribuidoras - Electroválvulas*. [En línea] [Citado el: 24 de noviembre de 2008.]  
<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica16.htm>.

Vargas, J. Carvallo y R., *Válvulas de solenoide*. [En línea] junio de 2003. [Citado el: 24 de noviembre de 2008.] <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/CARVALLOVARGASc.pdf>.

## Módulo de medición de presión interna, volumen y flujo de vapor condensado y alimentación:

E. López. 2003. *Protocolo SPI, Serial Peripheral Interface, Ingeniería en Microcontroladores*. [Online] Visitado 10 Mayo 2009 Available: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>

J.F. Douglas, *Fluid Mechanics*. England: Prentice Hall, 2001

Peterson, W. W. y Brown, D. *Comprobación de Redundancia Cíclica*. [Online] Visitado 10 Abril 2009.  
Disponible: [http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digos\\_c%C3%ADclicos](http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digos_c%C3%ADclicos)

J.G. Mateos Suárez. (Jan. 1996) *Medición de Nivel*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Departamento de Electrónica. *Instrumentación I*. [Online] Visitado 30 Mayo 2009. Disponible: <http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/nivel/nivel1.htm>



## Módulo de control, comunicación e interfaz de usuario:

López Pérez Eric .*Protocolo SPI* [Documento en línea] Disponible en:  
[www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf](http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf) [Visitado en: Junio, 2009]

*Sapiensman, "Control automático* [Documento en línea] Disponible en:  
[http://www.sapiensman.com/control\\_automatico/](http://www.sapiensman.com/control_automatico/) [Visitado en: Junio, 2009]

Módulo interfaz web para el monitoreo de variables y manejo a distancia de los sistemas automatizados:

Aho, Alfred V., et al., *Compilers*. 2nd Edition. s.l. : Addison-Wesley, 2007. p. 1009.

Bordetsky, Alex and Hayes-Roth, Rick., *Extending the OSI model for wireless battlefield networks: a design approach to the 8th Layer for tactical hyper-nodes*. ACM Portal. [Online] ACM, Septiembre 2007. [Cited: Marzo 14, 2009.] <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1359890.1744-2869> .

Evjen, Bill., *Professional XML*. s.l. : Wiley-India, 2007. p. 888.

Herrera, Enrique and Herrera Perez, Enrique., *Tecnologías y redes de transmisión de datos*. s.l. : Editoreal Limusa, 2003. p. 312. 9681863836.

Hethe Henrickson, Scott R. Hofmann., *IIS 6: the complete reference. Osborne Complete Reference Series. Network Administration Series*. s.l. : McGraw-Hill Professional, 2003. p. 699. 0072224959.

Lerdorf, Rasmus, Tatroe, Kevin and MacIntyre, Peter., *Programming PHP*. 2nd Edition. s.l. : O'Reilly, 2006. p. 521. ISBN 0596006810

NetMedia, Inc., *SitePlayer Software Manual*. [PDF] Tucson, Arizona : NetMedia, Inc., 2003.

Oliver, Michael., *Get started with an open source CMS, Part 7: Enable WebDAV on an open source PHP content management system*. IBM. [Online] IBM, 5 30, 2006. [Cited: 10 21, 2008.] <http://www.ibm.com/developerworks/edu/os-dw-os-ad-cms7.html>.

Rahmel, Dan., *Professional Joomla!* ACM Portal. [Online] ACM, 2007. [Cited: 10 21, 2008.] <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=SERIES12010.1554880.9780470133941> .

Salihbegovic, Adnan and Marinković, Vlado., *Web based multilayered distributed SCADA/HMI system in refinery application*. ACM Portal. [Online] [Cited: Junio 14, 2009.]

[http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1502829.1503202&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=56719648&CF\\_TOKEN=61301170.0920-5489](http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1502829.1503202&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=56719648&CF_TOKEN=61301170.0920-5489)

Tanenbaum, Andrew S., *Redes de computadoras*. s.l. : Pearson Educación, 2003. p. 891. 9702601622.

Toast, Andre., *Planning and handling timeouts in service-oriented environments*. IBM. [Online] IBM, 8 30, 2009. [Cited: 9 1, 2009.] <http://www.ibm.com>

Thimbleby, Harold and Thimbleby, Will., *Internalist and externalist HCI*. *ACM Portal*. [Online] 2007. [Cited: 4 18, 2009.] [http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1531407.1531436&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=56719648&CF\\_TOKEN=61301170.978-1-902505-95-4](http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1531407.1531436&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=56719648&CF_TOKEN=61301170.978-1-902505-95-4).

Toby J. Teorey, Sam Lightstone, Tom Nadeau., *Database modeling & design: logical design*. s.l. : Academic Press, 2005. 0126853525.

Tony Bautts, Terry Dawson, Gregor N. Purdy., *Linux network administrator's guide*. *Safari Books Online*. *O'Reilly Series*. s.l. : O'Reilly Media, 2005. p. 338. 0596005482.

W3C., HTML & CSS. W3C. [Online] W3C, 2009. <http://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss>.

Zuo, Zhi Bo, et al., *Build a Web presentation application using Ajax technology*. IBM. [Online] IBM, June 28, 2009. [Cited: July 2, 2009.] <http://www.ibm.com/developerworks/library/wa-aj-presentation1/>.

## Módulo de Planificación y presupuesto:

Briceño, Pedro. 1996. *Administración y dirección de proyectos: un enfoque integrado*. 2ª ed. Chile, McGraw Hill, 247 págs.

Destarac, Marie André. 2006. *Trabajo de graduación: Desarrollo de líneas guías de proyecto para el diseño y construcción de un sistema de telepresencia vía INTERNET 2 para procesos quirúrgicos en salas de operaciones*. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, 101 págs.

Sapag Chain, Nassir y Reinaldo. 2007. *Preparación y evaluación de proyectos*. 5ª ed. Colombia, McGraw Hill, 445 págs.

Taha, Hamdy A. 2004. *Investigación de operaciones*. 7ª ed. México, Prentice Hall, 848 págs.

## XI. APÉNDICE

Figura 59: Logo Megaproyecto automatización fase II



## XII. GLOSARIO

**Acero inoxidable:** Se define como una aleación de acero con un mínimo de 10% de cromo contenido en masa. El acero inoxidable es resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro.

**Acondicionador de señal:** Circuito cuya ecuación característica es semejante a la ecuación de una regresión lineal, a través de la cual logra mapear de una escala de valores otra, según los valores de componentes que el diseñador escoja.

**Actuador:** Es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

**Amplificador operacional:** Es un circuito electrónico (normalmente se presenta como circuito integrado) que tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor (G) (ganancia):  $V_{out} = G \cdot (V_+ - V_-)$

**BIT:** Unidad mínima de datos la cual solo puede adoptar dos posibles valores: cero o uno.

**BYTE:** Secuencia de ocho bits continuos, en los cuales se pueden tener hasta 256 posibles valores. A estos también se les llama como la unidad básica de almacenamiento de información.

**Caldera:** Recipiente de metal, grande y semiesférico, que sirve comúnmente para poner a calentar o cocer algo dentro de él. Recipiente donde hierve el agua, cuyo vapor en tensión constituye la fuerza motriz de la máquina.

**Circuito impreso:** Es un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de rutas o pistas de material conductor, grabados en hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor.

**Circuito integrado:** Es un circuito formado por elementos tales como diodos, transistores, resistencias y condensadores, los cuales están interconectados y ubicados en una pastilla de silicio. Es de unas dimensiones muy reducidas y sus elementos no se pueden separar. Es decir, el sistema electrónico está formado por circuitos completos y cada uno de ellos contiene centenas de elementos, todos ellos situados en el cristal de silicio.

**CONCYT:** El acrónimo significa Consejo nacional de ciencia y tecnología; es el órgano rector en el campo del desarrollo científico y tecnológico de Guatemala. Su función principal es la de brindar fondos económicos para el desarrollo de proyectos científicos en el país.

**Corriente:** Es el flujo de carga por unidad de tiempo. Se debe a un movimiento de los electrones en el interior del material

**CRC:** Dato adicional en las tramas que permite verificar si todos los datos recibidos son correctos. Esto funciona de tal forma que el emisor envía los datos y adjunta un CRC que es una operación entre todos los datos enviados, Luego del lado del receptor se hace la misma operación con los datos entrantes y si coincide del CRC se asume que los datos fueron transmitidos correctamente.

**Destilación:** Es la operación de separar, comúnmente mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición (temperaturas de ebullición) de cada una de las sustancias a separar

**Diagrama de bloques o responsabilidades:** Diagrama utilizado para representar a un grupo o equipo de trabajo, con tareas y objetivos relacionados. Las figuras geométricas (círculos y cuadrados) representan las áreas o módulos de los distintos Megaproyectos.

**Diagrama de flujo:** Es la representación gráfica de flujo de un algoritmo o de secuencia rutinarias. Se basan en la utilización de diversos símbolos para representar operaciones específicas. Se les llama diagramas de flujo porque los símbolos utilizados se conectan por medio de flechas para indicar la secuencia de la operación.

**Fermentador:** Equipo que lleva a cabo el proceso de fermentación que consiste en la reacción o descomposición de una sustancia orgánica por la acción de una enzima o fermento.

**Hardware:** Todos los componentes y dispositivos físicos y tangibles.

**Intrínsecamente seguro:** Equipo diseñado para trabajar en áreas con peligro de explosión, minimizando la exposición de posibles chispas eléctricas en el sistema.

**Microcontrolador:** Es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de E/S (entrada/salida).

**Multiplexor:** Dispositivo que permite transmitir varias señales independientes por el mismo canal.

**Oscilador:** Dispositivo capaz de convertir corriente directa a una señal periódica. Estos son ampliamente usados para operar micro-controladores, estos controlan la velocidad de procesamiento de los micro-controladores, su frecuencia puede ser tan alta como las especificaciones del micro-controlador lo permitan.

**PID:** Tipo de controlador el cual actúa respecto al error entre la salida deseada y la salida obtenida; utiliza la diferencia, su cambio en el tiempo y los errores acumulados para un mejor desempeño.

**Calderín:** Es un dispositivo usado en conjunto con columnas de destilación, con el objeto de vaporizar una determinada fracción o parte de los productos en el fondo. La diferencia con un vaporizador es que el último, es usado para vaporizar la totalidad de la alimentación.

**Resistencia:** Simbolizada habitualmente como R, a la dificultad u oposición que presenta un cuerpo al paso de una corriente eléctrica para circular a través de él.

**Retroalimentación:** es un proceso por el que una cierta proporción de la señal de salida de un sistema se redirige de nuevo a la entrada. Esto es de uso frecuente para controlar el comportamiento dinámico del sistema.

**Rotámetro:** Dispositivo que permite medir la cantidad de flujo de algún fluido en una tubería.

**RX:** Terminal donde un dispositivo recibe datos seriales.

**Sensor:** Es un aparato capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

**Sensores de temperatura RTD:** Estos son sensores de temperatura los cuales responden de forma resistiva en sus terminales a un cambio de temperatura.

**Software:** Es el equipamiento lógico e intangible como los programas y datos.

**SPI:** Protocolo de comunicación tipo maestro/esclavo en la cual se hacen transmisiones seriales síncronas y se selecciona el esclavo que se desea transmitir por medio de un pin de selección.

**Torre de enfriamiento:** Equipo que tiene como la finalidad enfriar una corriente de agua por vaporización parcial de esta con el consiguiente intercambio de calor sensible y latente de una corriente de aire seco y frío que circula por el mismo aparato.

**TRAMA:** Es una unidad de envío de datos, la cual contiene varios bytes. Cada byte en la trama lleva información la que se interpreta según su posición en la misma.

**Transductor:** Dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.

**Transistor:** Semiconductor provisto de tres o más electrodos que sirve para rectificar y amplificar los impulsos eléctricos. Sustituye ventajosamente a las lámparas o tubos electrónicos por no requerir corriente de caldeo, por su tamaño pequeñísimo, por su robustez y por operar con voltajes pequeños y poder admitir corrientes relativamente intensas.

**TX:** Terminal por la cual un equipo envía datos seriales.

**UPS:** Sistema de respaldo eléctrico el cual es utilizado para mantener encendido un equipo un par de minutos del apagón.

**USART/ UART:** Este es uno de los protocolos seriales que manejan los micro-controladores utilizados. Este protocolo es muy similar al RS-232 con la diferencia que aquí un uno lógico está representado por 5 voltios y un cero lógico por cero voltios.

**Variadores de frecuencia:** Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad.

**Voltaje:** Es una magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico cerrado, provocando el flujo de una corriente eléctrica. La diferencia de potencial también se

define como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico, sobre una partícula cargada, para moverla de un lugar a otro.

**Zener (diodo):** Es un diodo de silicio que se ha construido para que funcione en las zonas de rupturas. Llamados a veces diodos de avalancha o de ruptura, el diodo zener es la parte esencial de los reguladores de tensión.

**ZigBee:** Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN).