



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**CALCULO DE EVAPORACION FLASH PARA LA
DESALCOHOLIZACION DE VINOS ASISTIDO
POR COMPUTADORA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
GABRIEL GUTIERREZ ARELLANO

ASESOR: DR. JOSE LUIS ARJONA ROMAN
COASESOR: I.B.O. JOSE JAIME FLORES MINUTTI

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

" Cálculo de Evaporación Flash para la Desalcoholización de
Vinos Asistido por Computadora "

que presenta el pasante: Gabriel Gutiérrez Arellano
con número de cuenta: 8823382-2 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 25 de septiembre de 1996

PRESIDENTE	<u>I.O. Jorge Martínez Peniche</u>	
VOCAL	<u>M.en C. Ma. Elena Vargas Ugalde</u>	
SECRETARIO	<u>Dr. José Luis Arjona Román</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.Q. Oscar Germán Ibarra</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>M.en C. Ricardo P. Hernández García</u>	

**Quiso Dios sembrar en toda Alma gérmenes de inteligencia,
gérmenes de Sabiduría. . . Mira si no es más viva la centella
del pensamiento humano que el esplendor del sol que brilla . . .
Dura. ¿ Qué es entender sino vivir de un modo más brillante y
perfecto de la misma Luz de la Mente ? . . .**

San Agustín.

A Dios :

Por brindarme la vida y la oportunidad de estar aquí y ahora, realizando una de mis más anheladas metas . . . Porque me has dado todo para ser feliz y porque sé que con tu ayuda todo es posible . . .

A mis Padres, Gabriel y Elvira :

Porque siempre han estado a mi lado, apoyándome en todo momento . . . Por su amor, paciencia y sabiduría . . . Por todo lo que me han dado, sin esperar recibir nada a cambio, sólo puedo agradecerlos con todo mi corazón ya que no me alcanzaría la vida para pagarles.

A mis hermanos, Mauro, Alejandra y Miguel Angel :

Por permitirme compartir mi vida a su lado, porque siempre los he admirado ya que para mí serán un brillante ejemplo a seguir. . . espero nunca defraudarlos.

A Irene :

Por toda tu ayuda, cariño y comprensión. . . Por el interés que has puesto para la realización de esta tesis, ya que sin tu ayuda me hubiera resultado muy difícil concluirla.

A José Luis :

Por tu gran amistad. . . Porque sé que siempre podré contar contigo. . . Porque para mí eres como un hermano. . .

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Luis Arjona y al J. B. Q. Jaime Flores Minutti :

Gracias por su asesoría, por su tiempo y el interés depositado en este trabajo. . .

A la Maestra Ma. Elena Vargas Esgalde :

Por su ayuda y consejos para la conclusión de este trabajo. . . Gracias Maestra por su confianza y apoyo.

A todos mis maestros de la FES Cuautitlán:

Ya que de todos ellos he aprendido algo. . . siempre los recordaré con mucha admiración y respeto, especialmente a:

Dr. Alberto Tecante Coronel.

Dr. José Proal.

Dra. Sara Valdés Martínez.

Dra. Laura B. Martínez Padilla

Ing. Alfredo Álvarez Cárdenas.

A todos mis compañeros y amigos:

Porque con su amistad esta vida ha sido mucho más bella. . . Quisiera agradecer muy especialmente a: Ramón Ramírez Martinell, Alejandro Ponce, César Castrojón, Ana Lilia Campos, Julivta, Edith, Vicente y Gabriela Hernández Rodas.

AGRADECIMIENTOS

Al Honorable Jurado:

J. Q. Jorge Martínez Beniche.

M. en C. Ma. Elena Vargas Esgalde.

Dr. José Luis Arjona Román.

J. Q. Oscar Germán Ibarra.

M. en C. Ricardo B. Hernández García.

A la Asociación Nacional de Vitivinicultores. A. C. :

Y en particular al Lic. Rafael Almada por la información y el tiempo otorgado para la revisión de esta tesis.

A Fundación ZINAVD :

Particularmente al Programa de Becas para Tesis de Licenciatura en Proyectos de Investigación, por el apoyo económico prestado para la realización de este trabajo. . .

Con todos ustedes quedaré eternamente agradecido. . .

Gabriel Gutiérrez Arellano.

Octubre de 1996

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INDICE GENERAL	I
INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE CUADROS	VI
RESUMEN	VII
INTRODUCCION	VIII
OBJETIVOS	X
CAPÍTULO I: LA ENOLOGÍA EN MÉXICO.	
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA VINIFICACION	1
1.2 ASPECTOS GENERALES DEL VINO	3
1.2.1 DEFINICION Y CLASIFICACION	3
1.2.2 COMPOSICION	5
1.2.3 ESPECIFICACIONES NACIONALES	9
1.3 LA INDUSTRIA VINICOLA MEXICANA	10
1.3.1 PAISES PRODUCTORES DE VINO	10
1.3.2 PRODUCCION NACIONAL	13
1.3.3 ESTADOS PRODUCTORES	14
1.4 TECNOLOGÍA APLICADA EN LA ELABORACIÓN DE VINOS.	18
1.4.1 VINO TINTO	18
1.4.2 VINO BLANCO	22
1.4.3 VINO ROSADO	24
1.5 LA DESALCOHOLIZACIÓN DE VINOS.	25
1.5.1 MÉTODOS DE DESALCOHOLIZACIÓN	25

	Pag
CAPÍTULO II: EL PROCESO DE EVAPORACIÓN FLASH.	
2 1 DEFINICION Y UTILIZACION EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS	27
2 2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	27
2 3 ASPECTOS TERMODINÁMICOS DE LA EVAPORACION FLASH	32
2 3 1 EQUILIBRIO LIQUIDO-VAPOR	32
2 3 2 DIAGRAMA DE PUNTOS DE EBULLICIÓN	35
2 3 3 LA LEY DE RAOULT	39
2 3 4 VOLATILIDAD RELATIVA	41
2 3 5 CALCULO DE EVAPORACION FLASH MEDIANTE LOS DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO	43
2 3 6 CALCULO DE EVAPORACION FLASH PARA MEZCLAS MULTI- COMIPONENTE	49
2 3 7 DESVIACIONES DE LA IDEALIDAD	53
2 3 7 1 DESVIACIONES POSITIVAS	54
2 3 7 2 DESVIACIONES NEGATIVAS	57
2 3 7 3 MEZCLA ETANOL-AGUA	57
2 3 8 TRATAMIENTO PARA LAS DESVIACIONES DE LA IDEALIDAD	61
2 3 9 CALCULO DE EVAPORACION FLASH PARA MEZCLAS ETANOL-AGUA	63
CAPÍTULO III: IMPORTANCIA Y UTILIZACIÓN DE LAS COMPUTADORAS.	
3 1 DEFINICION Y DESARROLLO DE LA COMPUTADORA	69
3 2 APLICACION DE LAS COMPUTADORAS	74
3 2 1 APLICACION CON FINES ADMINISTRATIVOS	74

	Pág.
3 2 2 APLICACION CON FINES CIENTIFICO-TECNOLOGICOS.	75
3 3 LA SIMULACION DE PROCESOS EN INGENIERIA	77
3 4 EL LENGUAJE DE PROGRAMACION	79
3 4 1 CLASIFICACION DE LOS LENGUAJES DE PROGRAMACION	81
3 4 2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL LENGUAJE C	86
3 5 ALCANCES DEL PROGRAMA	89
 CAPÍTULO IV. MANEJO DEL PROGRAMA. 	
4 1 DIAGRAMAS DE FLUJO	90
4 2 ARRANQUE DEL PROGRAMA	97
4 3 MENU PRINCIPAL	97
4 4 OPCION 1 CALCULO PARA MEZCLA ETANOL-AGUA	99
4 5 OPCION 2 BALANCE DE ENERGIA PARA MEZCLA ETANOL-AGUA	104
4 6 OPCION 3 CALCULO PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE	107
4 7 OPCION 4 BALANCE DE ENERGIA PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE	112
4 8 SALIR DEL PROGRAMA	115
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	 117
BIBLIOGRAFIA	120
APÉNDICE A: NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-V-12-1986)	123
APÉNDICE B: CONSTANTES DE ANTOINE PARA ALGUNOS COMP. PUROS.	131
APÉNDICE C: CALORES LATENTES Y ESPECÍFICOS DE ALGUNOS COMP. PUROS.	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig	CONTENIDO	Pág.
1 1	LA FRANJA DEL VINO	12
1 2	PRODUCCIÓN NACIONAL	14
1 3	PRINCIPALES ZONAS VITICOLAS DEL PAIS	15
1 4	PROCESO DE ELABORACION DE VINO TINTO	20
1 5	PROCESO DE ELABORACIÓN DE VINO BLANCO	23
2 1	PROCESO DE EVAPORACION FLASH ISOTERMICO	28
2 2	PLANTA PILOTO PARA LA DESALCOHOLIZACION DE VINOS	30
2 3	EQUILIBRIO LIQUIDO-VAPOR PARA MEZCLAS BINARIAS	34
2 4	DIAGRAMA DE PUNTOS DE EBULLICION	36
2 5	DIAGRAMA DE EQUILIBRIO X-Y	37
2 6	INFLUENCIA DE LA PRESION EN EL EQUILIBRIO LIQUIDO-VAPOR	38
2 7	BALANCE DE MATERIA EN EL EVAPORADOR FLASH	43
2 8	LINEA DEL BALANCE DE MATERIA EN EL DIAGRAMA DE EQUILIBRIO	45
2 9	BALANCE DE ENERGIA EN EL EVAPORADOR FLASH	47
2 10	INTERVALO DE APLICACIÓN DE LAS LEYES DE RAULT Y HENRY	55
2 11	DESVIACIONES POSITIVAS DEL COMPORTAMIENTO IDEAL	56
2 12	DESVIACIONES NEGATIVAS DEL COMPORTAMIENTO IDEAL	58
2 13	DIAGRAMA DE EQUILIBRIO PARA LA MEZCLA ETANOL-AGUA	60
4 1	CALCULO DE EVAPORACION FLASH PARA MEZCLA ETANOL-AGUA	91

INDICE DE FIGURAS

Fig	CONTENIDO	Pag
4 2	CÁLCULO DE EVAPORACION FLASH PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE.	94
4 3	CÁLCULOS PARA EL BALANCE DE ENERGÍA	96
4 4	BIENVENIDA DEL PROGRAMA	97
4 5	MENÚ PRINCIPAL	98
4 6	RUTINA DE CÁLCULO DE LA OPCIÓN 1	100
4 7	MENSAJE PARA P - Pr	101
4 8	MENSAJE PARA P - Pb	102
4 9	MENSAJE DE ERROR	103
4 10	RESULTADOS PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 1.	104
4 11	RUTINA DE CÁLCULO DE LA OPCIÓN 2	106
4 12	RESULTADO PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 2	107
4 13	INICIO PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 3	108
4 14	CONSTANTES DE ANTOINE	109
4 15	CONDICIONES PARA LA OPCIÓN 3	110
4 16	RESULTADOS PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 3	111
4 17	RUTINA PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 4.	112
4 18	CONDICIONES PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 4	113
4 19	RESULTADO PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 4	115
4 20	DESPELIDA DEL PROGRAMA	116

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	CONTENIDO	Pág.
1 1	COMPOSICIÓN DEL VINO	6
1 2	ESPECIFICACIONES PARA VINOS NACIONALES	10
1 3	CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTADOS VITÍCOLAS	16
2 1	DATOS DE EQUILIBRIO PARA EL SISTEMA ETANOL-AGUA (P=101 3 kPa)	59
3 1	PRINCIPALES ANTECEDENTES HISTORICOS DE LAS COMPUTADORAS	71
3 2	LAS CINCO GENERACIONES DE COMPUTADORAS	73
3 3	DESARROLLO DE LENGUAJES DE PROGRAMACION.	80
3.4	CLASIFICACION DE LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	83

RESUMEN

La finalidad del trabajo que aquí se presenta es la de integrar la metodología para el cálculo de puntos de evaporación flash con la utilización de la computadora, a través del diseño de un programa de cómputo, realizado en lenguaje C, el cual pretende ser de utilidad en el proceso de desalcoholización de vinos

Para tal fin, se han desarrollado cuatro capítulos. En el primero se ofrece un panorama general acerca de la enología en México, citando en primera instancia una breve reseña histórica de la vinificación, algunos aspectos importantes del vino y de la industria vinícola mexicana, así como la tecnología aplicada en la elaboración de vinos y en la desalcoholización de éstos

En el segundo capítulo se describe, lo más detalladamente posible el proceso de evaporación flash, mencionando su utilización en la industria de alimentos, la descripción del proceso, los aspectos termodinámicos relacionados con esta operación, así como la metodología para el cálculo de evaporación flash para mezclas etanol-agua.

En el tercero se resalta la importancia y la utilización de las computadoras, citando la definición y el desarrollo que han alcanzado, sus aplicaciones, algunos aspectos importantes referentes a los lenguajes de programación, características importantes del lenguaje C y los alcances del programa desarrollado.

Finalmente en el último capítulo de esta tesis se lleva a cabo la descripción del manejo y la utilización del programa, con la finalidad de que éste pueda ser aprovechado de la mejor manera posible.

INTRODUCCIÓN

Los vinos han sido, desde hace muchos años, una de las bebidas fermentadas de consumo popular más apreciadas en el mundo debido a sus características sensoriales, como son su aroma, sabor y cuerpo, las cuales hacen de ésta una bebida sumamente especial. Sin embargo en los últimos años se ha podido observar que existe una tendencia general a sustituir el consumo de vino por el de otras bebidas fermentadas de menor grado alcohólico, como por ejemplo la cerveza. Esta tendencia ha ocasionado un grave problema de sobreproducción en algunos países tradicionalmente productores de vino.⁽¹⁾

Por otro lado, los graves problemas de alcoholismo que sufren algunos países europeos, principalmente nórdicos, en donde es muy popular el consumo de bebidas de un alto contenido alcohólico (como el brandy o el vodka) han dado a la industria vinícola la pauta para producir vinos de bajo contenido alcohólico, los cuales pueden ser coadyuvantes en la lucha contra esta terrible enfermedad, así como brindar una alternativa de solución a la producción excedentaria. Para llevar a cabo este tipo de productos se han utilizado diversas técnicas, de entre las cuales se puede mencionar a la evaporación flash, la cual se ha aplicado obteniendo excelentes resultados.

La evaporación flash, conocida también como destilación instantánea, cerrada o de equilibrio, consiste principalmente en vaporizar una parte del líquido procediendo de tal forma que el vapor producido esté en equilibrio con el líquido residual.

La evaporación flash es la operación más sencilla de los procesos de etapas de equilibrio con el que se puede encontrar un ingeniero. Sin embargo, el cálculo de las composiciones y cantidades relativas de

INTRODUCCION

las fases líquida y vapor para una temperatura y presión dadas requiere de una tediosa solución por métodos iterativos los cuales requieren de una gran inversión en cuanto al tiempo que se dedica a ellos.

Por otro lado, la utilización de la computadora dentro de la Ingeniería ha traído consigo muchas ventajas que la han convertido en una herramienta insustituible, ya que gracias a ésta se reduce en gran medida el tiempo dedicado para la realización de cálculos matemáticos, con lo cual el ingeniero puede aprovechar la mayor parte de su tiempo en la toma de decisiones o en el diseño de procesos.

En virtud de lo anterior, el trabajo que aquí se presenta pretende conjuntar la metodología para la solución de problemas de evaporación flash con la utilización de la computadora, a través del diseño de un programa de cómputo el cual realiza cálculos de puntos de evaporación flash, así como el balance de energía, con el propósito de que este programa pueda ser de utilidad en el proceso de desalcoholización de vinos.

Debido a que los vinos son sistemas sumamente complejos por la gran variedad de constituyentes que los componen, se decidió utilizar un modelo matemático el cual sólo considera a sus dos componentes mayoritarios, que son el alcohol etílico y el agua, con la finalidad de poder simplificar los cálculos.

Cabe señalar que el programa desarrollado cuenta con una opción para realizar cálculos de evaporación flash para mezclas multicomponente ideales, así como su balance de energía, con el objeto de que el programa abarque un intervalo de aplicación mayor.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Integrar la metodología para el cálculo de puntos de evaporación flash con la utilización de la computadora a través del diseño de un programa de cómputo, el cual pueda ser utilizado en el proceso de desalcoholización de vinos

OBJETIVO PARTICULAR 1:

Mencionar algunos aspectos importantes relacionados con la producción de vinos con la finalidad de ofrecer un panorama general acerca de la enología en México, así como resaltar la importancia del proceso de desalcoholización

OBJETIVO PARTICULAR 2:

Describir el proceso de evaporación flash a fin de que pueda ser comprendido desde un punto de vista operacional y termodinámico a través del análisis de las diferentes variables interrelacionadas en este proceso

OBJETIVO PARTICULAR 3:

Diseñar un programa de cómputo, con la ayuda de un lenguaje apropiado, el cual pueda realizar cálculos de evaporación flash, así como el balance de energía, para mezclas etanol-agua y para mezclas multicomponente ideales

CAPÍTULO I:
LA ENOLOGÍA
EN MÉXICO.



I.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA VINIFICACIÓN.

El hombre ha elaborado bebidas fermentadas desde la más remota antigüedad. Se tienen indicios de que desde el periodo Paleolítico¹, probablemente por accidente, se produjeron las primeras bebidas fermentadas a partir de la miel. Años más tarde, durante el periodo Neolítico (6000 - 2500 a.C) la fermentación de cereales y la producción de cerveza se convirtió en una práctica muy popular en el Medio Oriente y Egipto. Por su parte, la producción de vino a partir de la fermentación de la uva era más popular en los territorios palestinos, griegos y romanos^{1,2}.

La expansión y el dominio de las culturas griega y romana alrededor del Mediterráneo trajo consigo un activo comercio de vinos entre estas y sus colonias, las cuales posteriormente plantaban sus propios viñedos para poder llevar a cabo la producción de sus vinos. De esta forma el vino se introdujo a todos los países alrededor del Mediterráneo y del Mar Negro, y de allí a las demás regiones europeas, de Asia y del norte de África.

Años más tarde la expansión del Cristianismo dio un importante auge al cultivo de la vid para la producción de vino, el cual es indispensable para la Celebración Litúrgica^{1,3}. Así pues el descubrimiento de América y la conquista de la Nueva España introdujo el cultivo de la vid al nuevo continente.

Los principales promotores de este cultivo fueron los misioneros Católicos, fundamentalmente los Jesuitas, Dominicos y Franciscanos.

¹ La era del periodo Paleolítico se considera desde la aparición del hombre hasta el año 12000 a.C. aproximadamente.

Sin embargo, cabe señalar que aunque los habitantes de la Nueva España desconocían la fermentación del jugo de uva y por consiguiente la producción de vino, ya existía la vid en este continente y los españoles encontraron algunas viñas salvajes en la península de California y en Guerrero.

El 20 de marzo de 1524 Hernán Cortés estableció como obligación de los encomenderos (señores a los que se les había otorgado tanto tierras como trabajadores a su cargo) plantar 1000 sarmientos por cada 100 trabajadores que habitaran sus tierras en un lapso no mayor de cinco años. Por su parte a cada colonizador español se le ordenó plantar 10 viñas al año por cada habitante de su territorio.

De esta forma es como la vitivinicultura se fue desarrollando en nuestro país. La primera bodega vinícola fue fundada en 1593 en la ciudad de Parras, Coahuila, y desde allí se enviaron sarmientos a lo que hoy es conocido como California, E.U., y posteriormente a Canadá. Por otro lado, también de la Nueva España fueron enviados sarmientos a América del Sur (principalmente a Perú y Chile)⁽¹⁷⁾.

La fama creciente de los vinos producidos en la Nueva España trajo como consecuencia el temor de que competirían con los vinos españoles. Por esta razón el Rey Felipe II emitió un decreto en 1595 en el cual estableció que todo el vino que se consumiese en la Nueva España debía ser traído desde la Península Ibérica y transportado por navíos españoles, de igual forma prohibió el cultivo de la vid.

Este decreto no sería el único obstáculo que tuvo que padecer la producción de vino en nuestro país. La guerra de Independencia, su establecimiento como nación libre, la guerra de Reforma y otros acontecimientos ocasionaron inestabilidad interna en el país lo cual dificultó por muchos años el cultivo de la vid para la producción de vino. Por esta razón el mercado nacional se encontró por muchos años dominado por los vinos extranjeros.

Algunos defensores de los vinos nacionales intentaron frenar esta saturación de vinos extranjeros implementando diversas medidas. Por ejemplo el General Iturbide en 1822 estableció un aumento del 35% en los impuestos de importación de vinos y favoreció la producción interna. Años más tarde, en 1843 el ministro Lucas Alamán estimuló la vitivinicultura en nuestro país a través de la creación de la Escuela de Agricultura.

A pesar de estas medidas, el verdadero impulso que sufrió la vitivinicultura nacional fue gracias a la Segunda Guerra Mundial, ya que en estos años la producción europea permaneció estancada.

Al término de la guerra el Gobierno mexicano decidió cuadruplicar las tarifas de importación a los vinos europeos y en general durante estos años ha puesto varias restricciones a los vinos importados para proteger la producción nacional. Actualmente existen más de 30 empresas vitivinícolas en México, establecidas principalmente en 10 estados de la República.

1.2 ASPECTOS GENERALES DEL VINO.

1.2.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN.

En el sentido más amplio de la palabra, se le puede llamar vino casi a cualquier bebida fermentada, no destilada, de origen frutícola⁽¹⁵⁾, de esta forma tenemos el jugo fermentado de manzana (comúnmente llamado *Sidra*), el de pera (denominado *Perry* y de consumo popular en países como Francia, Suiza y Alemania), de zarzamora, ciruela, fresa, uva pasa, etc. Sin embargo, el término genérico de vino se utiliza exclusivamente para el jugo de uva.

Así pues, se entiende por vino como la bebida resultante de la fermentación alcohólica del jugo de uva. Cabe señalar que al jugo de uva que es destinado al proceso de vinificación se le denomina mosto⁽²⁶⁾

Existen diversos tipos de vino. La definición anterior se emplea para los llamados vinos de mesa, que se consumen para acompañar la comida y que por esta razón se denominan así, los cuales se dividen en tres tipos básicamente, que son tintos, blancos y rosados. Estos a su vez pueden clasificarse como secos, semisecos o dulces dependiendo de su contenido de azúcar.

En México se considera que un vino es seco cuando presenta menos de 10 g/l de materias reductoras expresadas en azúcar invertido, semiseco o semidulce si presenta entre 10 y 30 g/l, y dulce cuando su contenido es mayor de 30 g/l. Además de los vinos de mesa se tiene otro tipo de vinos, los llamados vinos espumosos o carbonatados. Estos se elaboran a partir de vinos de mesa (preferentemente de vinos blancos) para que posteriormente se lleve a cabo una segunda fermentación dentro de la botella, con lo cual el producto final tendrá un alto contenido de bióxido de carbono. Dentro de este tipo de vinos se encuentra la *Champaña*.

Un tercer tipo de vinos son los llamados vinos reforzados o vinos de postre, los cuales difieren de los vinos de mesa porque en general poseen un mayor contenido alcohólico, más aroma y un sabor ligeramente más dulce.

El grado alcohólico en los vinos de mesa oscila comúnmente entre 9 y 12 %, por su parte los vinos reforzados presentan un grado alcohólico entre 17 y 20 %². Entre los vinos reforzados más comunes en el mercado se puede citar al *Jerez*, *Malvasía* (originarios de España), el *Oporto* y el *Madiera* (originarios de Portugal).

Finalmente cabe señalar que algunos vinos reciben el nombre de las localidades o de las viñas en donde fueron elaborados, como el Burdeos y el Borgoña, a otros se les nombra de acuerdo al tipo de uva o a la

² El grado alcohólico de las bebidas se expresaba antes en grados Gay-Lussac (°GL), pero a partir del T.L.C. se acordó que se expresara en % en volumen de alcohol. Ambas unidades representan exactamente lo mismo.

variedad a partir de la cual fueron elaborados (estas denominaciones se utilizan comúnmente en los vinos espumosos)⁽¹³⁾

Como se podrá apreciar existen diversos tipos de vino, sin embargo a partir de este momento en los siguientes puntos de esta tesis cuando se hable de vino se referirá exclusivamente a los vinos de mesa.

1.2.2 COMPOSICIÓN.

Los vinos son una mezcla muy compleja de diversos elementos, algunos de los cuales no se han podido aún identificar.⁽¹⁴⁾ Muchas de estas sustancias se forman a través del proceso de fermentación y otras durante el periodo de añejamiento de los vinos, en donde se desarrolla el llamado *bouquet* o aroma del vino

Una composición media de los vinos se presenta en el cuadro 1.1

Como podrá observarse los componentes mayoritarios del vino son dos, el agua y el alcohol etílico, ambos componentes representan prácticamente entre un 95 y 98 % de la composición total del vino

A pesar de que la mayoría de los componentes no llegan a representar ni siquiera un 0.5 % del total de la composición del vino, muchos de estos compuestos, aunque están presentes en tan bajas proporciones, son los responsables directos del aroma y el sabor característico del vino.⁽¹⁵⁾

Así pues cuando los vinos son sometidos a algún proceso de desalcoholización es muy importante que el producto final contenga la mayoría de sus componentes originales, ya que su ausencia provocaría grandes cambios en las características sensoriales del producto.

CUADRO 11
COMPOSICIÓN DEL VINO (11)

COMPONENTE	%
AGUA	80-90
CARBOHIDRATOS	0.1-0.3
Glucosa	0.05-0.1
Levulosa	0.05-0.1
Pentosas	0.08-0.2
Arabinosa	0.05-0.1
Raminosa	0.02-0.04
Xilosa	T
Pectina	T
Inositol	0.03-0.05
ALCOHOLES Y SIMILARES	
Etilico	8.0-15.0
Metílico	0.01-0.02
Superiores	0.008-0.012
2,3-Butilenglicol	0.01-0.15
Acetilmetilcarbinol	0.006-0.003
Glicerol	0.30-1.30
Sorbitol	T
Diacetilo	T-0.0006
ALDEHIDOS	0.001-0.050
ÁCIDOS ORGÁNICOS	0.3-1.1
Tartárico	0.1-0.6
Málico	0.0-0.6
Cítrico	0.0-0.05
Succínico	0.05-0.15
Láctico	0.1-0.5

CUADRO 1.1 (continuación)
COMPOSICION DEL VINO

COMPONENTE	•.
Acetico	0.03-0.05
Fornico	T
Propionico	D
Butirico	D
Glucenico	B
Glucuronico	B
Gluoxilico	0.00012
Mesoalico	0.0001-0.0003
Glicerico	T
Sacarico	T
Aminoacidos	0.01-0.2
Pantotemico	T
Quinico	T
p-Cumarico	?
Siquinico	?
Sulfuroso	0.00-0.05
Carbonico	V
POLIFENOLES Y SIMILARES	
Antocianinas	T
Clorofila	0-T
Xantofila	?
Caroteno	?
Flavonoles	N R
Quercitina	T
Quercitina	T
Rutina	?

CUADRO 11 (continuación)
COMPOSICIÓN DEL VINO

COMPONENTE	‰
Taninos	0.01-0.1
Catecol	T
Galocatecol	T
Gal de epicatecol	T
Ac galico	T
Ac elagico	T
Ac clorogenico	T
Ac isoclorogenico	T
Ac cafeico	T
COMP NITROGENADOS	
Totales	0.01-0.09
Proteina	0.001-0.003
Aminoacidos	0.01-0.2
Humico	0.001-0.002
Amidico	0.001-0.008
Amonico	0.000-0.071
Residual	0.005-0.02
COMP MINERALES	0.15-0.4
Potasio	0.045-0.175
Magnesio	0.01-0.02
Calcio	0.001-0.021
Sodio	T-0.044
Hierro	T-0.002
Aluminio	T-0.001
Manganeso	T-0.005
Cobre	T-0.0005

CUADRO 1.1 (continuación)
COMPOSICIÓN DEL VINO

COMPONENTE	%
Boro	T-0 004
Rubidio	T-0 0004
Fosfatos	0 001-0 09
Sulfatos	0 003-0 22
Ac silícico	0 0002-0 005
Cloruros	0 001-0 06
Fluoruros	0 0001-0 001
Ioduros	T-0 001
Bóxido de Carbono	0 01-0 05
Oxígeno	T-0 00006

B: Sólo en vinos elaborados a partir de uvas con botritis.

D: Sólo en vinos deteriorados

T: Trazas.

V: Variable

N.R.: No reportado.

1.2.3 ESPECIFICACIONES NACIONALES.

En México la producción nacional de vinos está reglamentada por medio de la Norma Oficial Mexicana NOM-V-12-1986.

Las principales especificaciones, tanto físicas como químicas de este producto, se resumen en el cuadro 1.2.

CUADRO 1.2
ESPECIFICACIONES PARA VINOS NACIONALES

ESPECIFICACIONES	MÍNIMO	MÁXIMO
Grado alcohólico (% vol. a 15 C)	8.5	14.0
Extracto seco reducido (g/l)	15.0	
Cenizas (g/l)	1.0	
Acidez total (Expresada como ácido tartárico, g/l)	4.5	10.0
Acidez volátil total (Expresada como ácido acético, g/l)		1.2
Acidez fija (Expresada como ácido tartárico, g/l)	4.0	
Metanol (mg/100 ml en alcohol 100%)		300.0
Bioxido de azufre total (mg/l)		300.0

FUENTE: SECOFI DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS NOM-V-12-1986

Asimismo en esta norma se especifica que el uso de aditivos queda restringido a aquellos que sean permitidos y en los límites que establezca la Secretaría de Salud. Una copia de esta norma con todas sus especificaciones se encuentra en el Apéndice A.

1.3 LA INDUSTRIA VINÍCOLA MEXICANA.

1.3.1 PAÍSES PRODUCTORES DE VINO.

En el mundo existen zonas en las cuales las condiciones climáticas favorecen un adecuado cultivo de uvas para vinificación, ya que no cualquier tipo de uva es apta para obtener un buen vino. En general las uvas

se pueden dividir en dos grandes grupos: las uvas de mesa y las de vinificación. Las primeras son más dulces y tienen un contenido menor de ácidos, razón por la cual se consumen preferentemente como fruta. Por su parte las uvas de vinificación tienen la propiedad de ser más ácidas y menos dulces.¹²⁶

Para el cultivo de uvas de vinificación se requieren zonas cuyos climas deben estar muy bien definidos, con veranos largos pero secos y con inviernos fríos y frescos. Estas zonas se ubican geográficamente entre los 30° y 50° de ambos hemisferios.¹²⁷ A esta área del mundo se le conoce como la *franja del vino*.

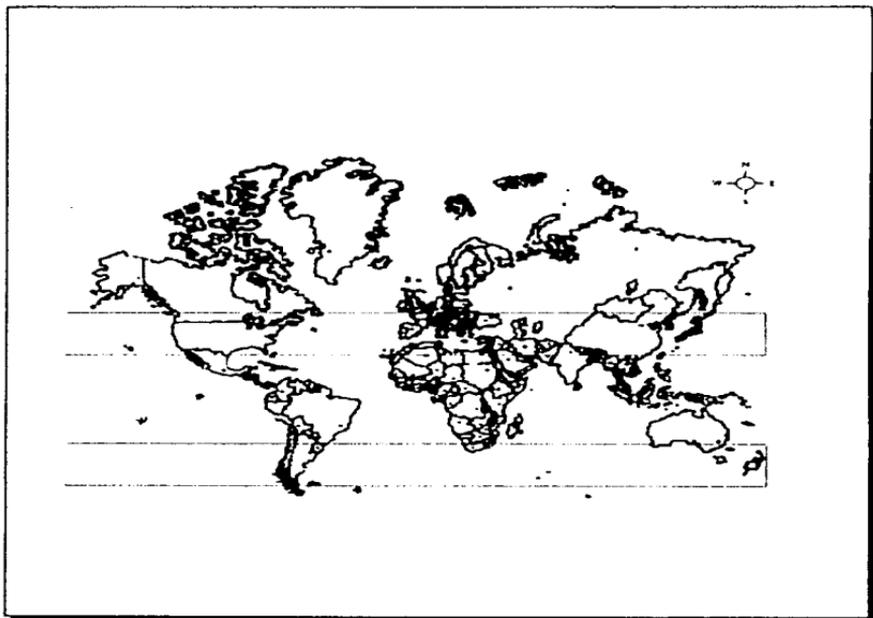
En la figura 1.1 se representa esta doble franja la cual atraviesa gran parte de Europa (Todos los países alrededor del Mediterráneo), el norte de África, parte de Norte América y Baja California en el hemisferio norte, y al sur zonas como Australia, Sudáfrica y parte de Sudamérica.

El continente europeo produce más del 80 % del total de la producción mundial de vino, de igual forma esta zona es en donde se encuentra el mayor consumo de esta bebida. Después de Europa le siguen en orden de importancia Sudamérica, África, Norte América, Australia y Asia.

Los tres principales países productores de vino, a nivel mundial, son Italia, Francia y España. Por su parte, en el continente americano destacan países como Chile y Argentina.

México no es considerado un país preponderantemente productor de vino, además el consumo de esta bebida en nuestro país es muy bajo en comparación con el de otros países. Por citar algún dato basta decir que el consumo per cápita en un país productor de vino por excelencia, como lo es Italia, es del orden de 85 l. por año, mientras que en México apenas se alcanzan los 250 ml.

FIG. 1.1
LA FRANJA DEL VINO



Este consumo de vino tan bajo obedece indudablemente a muchos factores, tanto históricos (algunos de los cuales ya se han mencionado¹) como culturales, ya que muchas personas piensan que los vinos deben consumirse para acompañar exclusivamente platillos internacionales, muy sofisticados o de "alta cocina", sin detenerse a pensar que la comida mexicana se puede acompañar muy bien con un buen vino.

1.3.2 PRODUCCIÓN NACIONAL.

En la figura 1.2 se presentan datos correspondientes a la producción nacional de tres tipos de bebidas alcohólicas, que son vino, brandy y jerez a lo largo de 4 años: 1986, 1991, 1992 y 1993.

Como podrá observarse la producción nacional de bebidas alcohólicas, de origen de uva, es preferentemente de brandy.

Esto obedece a que en nuestro país el consumo de brandy, que es una bebida alcohólica destilada y por consecuencia con un mayor contenido alcohólico (alrededor del 38 %), es más popular que el consumo de vino, particularmente mezclándolo con agua, soda o refresco de cola.

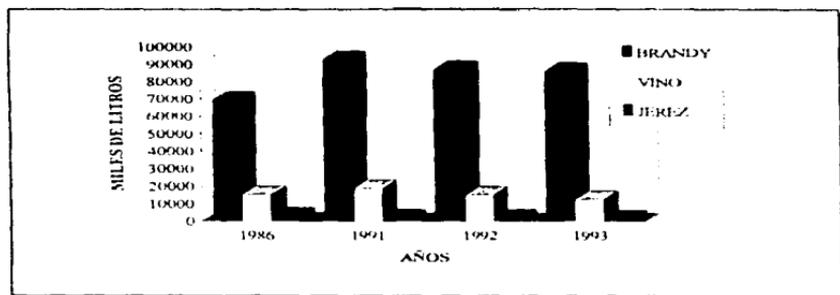
Así mismo se puede observar que después de que en los años de 1986 a 1991 se tuvo un aumento en la producción (excepto para el jerez, que ha permanecido constantemente a la baja), en los últimos años se ha tenido una disminución en la producción nacional de vino y brandy.

A pesar de esto, a partir de la firma del T.L.C. se han incrementado los niveles de exportación de vino tinto y blanco a diferentes países europeos.⁴

¹ Ver 1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA VITIVINICULTIVACIÓN

⁴ ASOCIACIÓN NACIONAL DE VITIVINICULTORES, A.C.

FIG 1.2
PRODUCCIÓN NACIONAL



FUENTE: ASOCIACIÓN NACIONAL DE VITIVINICULADORES, A.C.

1.3.3 ESTADOS PRODUCTORES.

En México se utilizan diversas variedades de uva para la producción de vinos. Así pues, no se emplea de manera exclusiva la variedad europea, llamada *vitis vinifera*, sino que también son empleadas variedades tales como *Barbera*, *Burger*, *Cabernet Sauvignon*, *Moscatel*, *Palomino*, *Málaga*, *Pinot Noir*, etc. La ubicación de las principales zonas vitícolas en la República se esquematiza en la figura 1.3.

Como se podrá observar los principales viñedos del país se encuentran distribuidos en diez estados principalmente, que son los estados de Baja California Norte, Coahuila, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Sonora, Chihuahua y San Luis Potosí. De estos diez, los siete primeros se destacan por la producción de uvas para la industria vinícola mexicana.

FIG. 1.3
PRINCIPALES ZONAS VITÍCOLAS DEL PAÍS⁽²⁶⁾

El estado que más destaca por la producción de los vinos de mejor calidad es el estado de Baja California Norte, además cabe señalar que es el único que goza de un clima *mediterráneo* (26).

Algunas características generales de los estados se resumen en el cuadro 13.

CUADRO 13
CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTADOS VITÍCOLAS (26)

ESTADO	HECT. CULT.	CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN	ALGUNAS MARCAS DE VINOS
Zacatecas	5800	Su clima es muy favorable para el cultivo de la vid, por lo cual el edo. ha alcanzado un importante desarrollo.	*Casa Pínson Hnos: Alcalde, Cabernet. *Antonio Fndez. y Cia: Etiqueta de Oro, Rubí Cabernet.
San Luis Potosí	300	Se realizan grandes esfuerzos en el edo. para obtener uvas ya que la zona es casi desértica. Los vinos producidos no alcanzan una comercialización importante.	
Durango	1700	El cultivo de la vid en el edo. es reducido y la mayoría de las uvas se emplean para obtener brandys.	*Compañía Vinícola del Vergel. Mesón de la Hacienda, Viña Santiago y Vergel.
Aguaascalientes	6500	Debido a las características de su clima, se producen principalmente uvas de mesa y para la obtención de bebidas destiladas; sin embargo en los últimos años se han utilizado más uvas para la producción de vinos.	*Compañía Vinícola de Aguaascalientes: Álamo, San Marcos. *Vinícola L. A. Cetto: Don Ángel.

CUADRO 1.3 (continuación)
 CARACTERISTICAS DE LOS ESTADOS VITICOLAS

ESTADO	HECT. CULT	CARACTERISTICAS DE LA REGION	ALGUNAS MARCAS DE VINOS
Baja California Norte	7500	Región sumamente calurosa en el verano, pero recibe la brisa del Océano Pacifico y cuenta con noches frescas. La lluvia es escasa pero se han implementado sistemas de riego por aspersión y goteo	* Casa Pedro Domecq Calafia, Los Reyes, Padre Kino * Vinicola L.A. Cetto Zinfandel, Riesling * Prod. de Uva S.A. Marques del Valle, Champbrule Brut
Sonora	26000	Es el edo. que produce la mayor cantidad de uvas en el país, pero éstas se destinan para la obtención de uvas de mesa, uva pasa y aguardientes debido a que el clima de la región no es el más apropiado para obtener uvas de vinificación.	
Chihuahua	1000	Su cultivo de uva es muy reducido actualmente, las uvas producidas en el edo. se destinan a otros usos.	
Coahuila	4300	Es uno de los edos. de mayor tradición vitivinícola (la primera bodega de vinos se construyó en la ciudad de Parras), sin embargo actualmente la producción es pequeña.	* Casa Grande. Madero y casa Grande.

CUADRO 1.3 (continuación)
 CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTADOS VITÍCOLAS

ESTADO	HECT. CULT.	CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN	ALGUNAS MARCAS DE VINOS
Guanajuato	1000	Aunque la producción es pequeña, el edo. cuenta con una gran tradición vitivinícola	*Bodegas San Luis Rey Vino de Consagrar.
Querétaro	2500	Otro edo. de gran tradición vitivinícola, las regiones más importantes se encuentran en San Juan del Río y Tequisquiapan	*Bodegas Cruz Blanca Montebello, Cruz Blanca *Grupo Martell. Clos San José y Chatillon

1.4 TECNOLOGÍA APLICADA EN LA ELABORACIÓN DE VINOS.

La enología es la ciencia y el arte de elaborar vinos. Para la obtención de un buen vino se debe seguir una tecnología especial dependiendo del tipo que se quiera obtener. A continuación se explicará, de manera muy breve, las técnicas generales que se emplean para la producción de los tres tipos de vino que se conocen: tinto, blanco y rosado.

1.4.1 VINO TINTO.

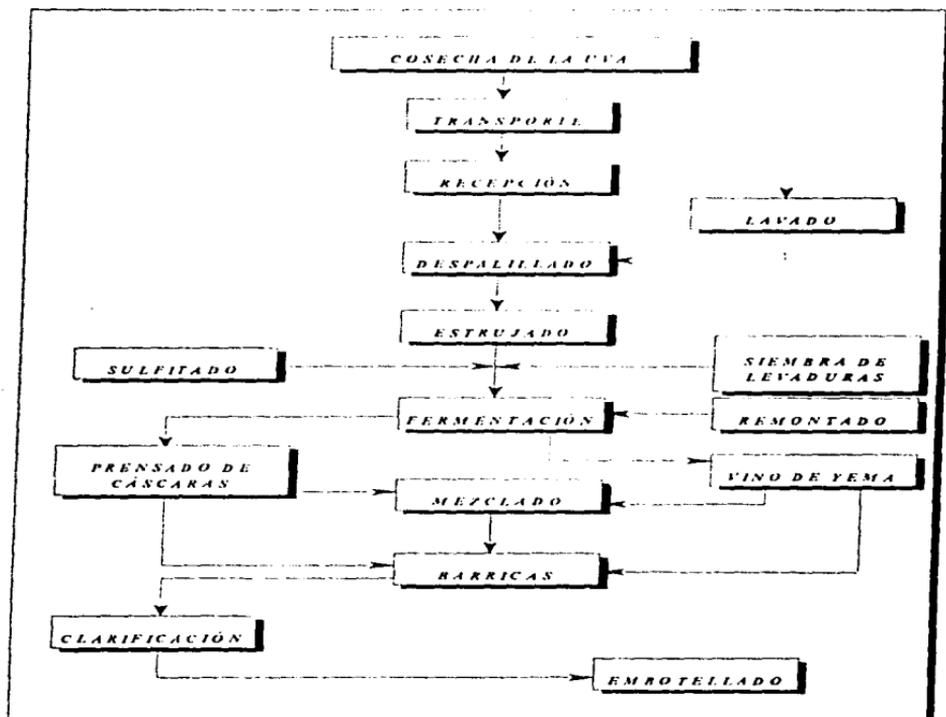
Las operaciones básicas para la elaboración del vino tinto se esquematizan en la figura 1.4. El proceso de elaboración comienza con la cosecha de la uva madura, esta operación se conoce como *vendimia*. Para determinar que las uvas ya están maduras se pueden realizar pruebas de densidad al jugo de éstas, para conocer el contenido de azúcares el cual debe estar en un intervalo de 20 a 23 °Brix. Sin embargo es

más común que se realice esta determinación a simple vista cuando los racimos cuelgan sin rigidez, los pedúnculos pierden el color verde y las uvas son más blandas. Una vez cosechadas, las uvas son transportadas hasta el lugar de recepción conocido como *lagar* en cajas perforadas o en canastas de mimbre o de algún material similar. Solo en el caso de que las uvas cosechadas vengan muy sucias es conveniente lavarlas para evitar que la tierra pase al mosto. Para realizar el lavado se pueden hacer pasar las cestas por una banda con espreas. Cabe señalar que esta práctica de lavado no es común que se realice, ya que se tiene el temor de perder una gran cantidad de levaduras, las cuales se encuentran adheridas a la cascara.

Antes de proceder al *estrujado* de la uva es conveniente separar las ramas, en una operación conocida como *despalillado*, a fin de evitar que entren en contacto con el mosto y este adquiera un sabor a hierba. Para realizar el *despalillado* se pueden utilizar cilindros perforados que giran a gran velocidad a través de los cuales van pasando los racimos, la fuerza centrífuga y de impacto permiten que se desprendan las uvas y pasen por las perforaciones. Por su parte las ramas siguen avanzando y se expulsan por el extremo del cilindro.

Para realizar el *estrujado* es común que las uvas se reciban en una tolva la cual desemboca sobre dos cilindros de superficie estriada y que giran en sentidos opuestos, uno a mayor velocidad que el otro, la distancia entre ambos cilindros está calculada de manera que las uvas se revienten y puedan soltar su jugo. En esta operación debe tenerse mucho cuidado de no llegar a moler las uvas ya que pueden romperse las semillas y por consecuencia el mosto tendría una cantidad apreciable de taninos lo que provocaría en el vino una mayor astringencia y dureza. Una vez obtenido el mosto, éste se puede tratar con una cantidad de SO_2 (añadido como metabisulfito, bisulfito ó como SO_2 líquido) suficiente para dar una concentración total de 75 a 150 p.p.m. con el fin de evitar el crecimiento de hongos o de bacterias contaminantes⁽¹⁵⁾.

FIG 1.4
 PROCESO DE ELABORACIÓN DE VINO TINTO



También es común que se realice una siembra de levaduras seleccionadas del género *Saccharomyces cerevisiae*. De este género existen varias especies como la *ellipsoideus* la cual participa en la mayor parte de la fermentación pero se inactiva cuando el contenido de alcohol alcanza un nivel relativamente elevado, y la *oxiformis*, la cual es conocida como *levadura terminadora* quien es resistente a elevadas concentraciones de alcohol y permite que la fermentación se lleve a cabo hasta el final.²⁶¹

Para llevar a cabo el proceso de fermentación el mosto se envía a un tanque destapado, el cual puede alcanzar una capacidad de entre 100 000 y 400 000 litros. Durante el proceso de fermentación el azúcar del mosto se transforma en alcohol etílico y CO₂ principalmente, además de otras sustancias. La temperatura óptima para que se lleve a cabo la fermentación en vinos tintos es de entre 21 y 27 °C. Debido a que la actividad de las levaduras durante la fermentación eleva la temperatura es muy conveniente contar con sistemas de refrigeración en los tanques para poder controlar el proceso.

El tiempo requerido para la fermentación es de 8 a 15 días, durante los cuales se van tomando muestras a fin de seguir la trayectoria de la disminución de los azúcares y el incremento del alcohol.

Paralelamente a la fermentación se produce un fenómeno de disolución de la materia colorante que se encuentra en la piel o cáscara de la uva (las antocianinas). Dicha pigmentación va siendo más importante conforme transcurre la fermentación.

Durante el tiempo de fermentación se acostumbra hacer circular el vino diariamente, bombeándolo desde la parte inferior y haciéndolo pasar por las cáscaras de manera que se pueda extraer mejor la materia colorante. A esta operación se le conoce como *remoutado* y a las cáscaras que flotan en su mayoría sobre el líquido se le llama *sombrero*.

Cuando ha terminado la fermentación, el vino se deja salir por la parte inferior del tanque (a este tipo de vino se le conoce como *vino de yema*) para ser depositado a otro tanque o directamente a las barricas

Posteriormente las cáscaras que han quedado impregnadas con vino se pasan a una prensa para que al oprimirlas se obtenga el vino que aun contienen

Una vez que se obtienen ambos vinos, el de yema y el de prensado, se toma la decisión técnica de mezclarlos parcial o totalmente, o de comercializarlos por separado

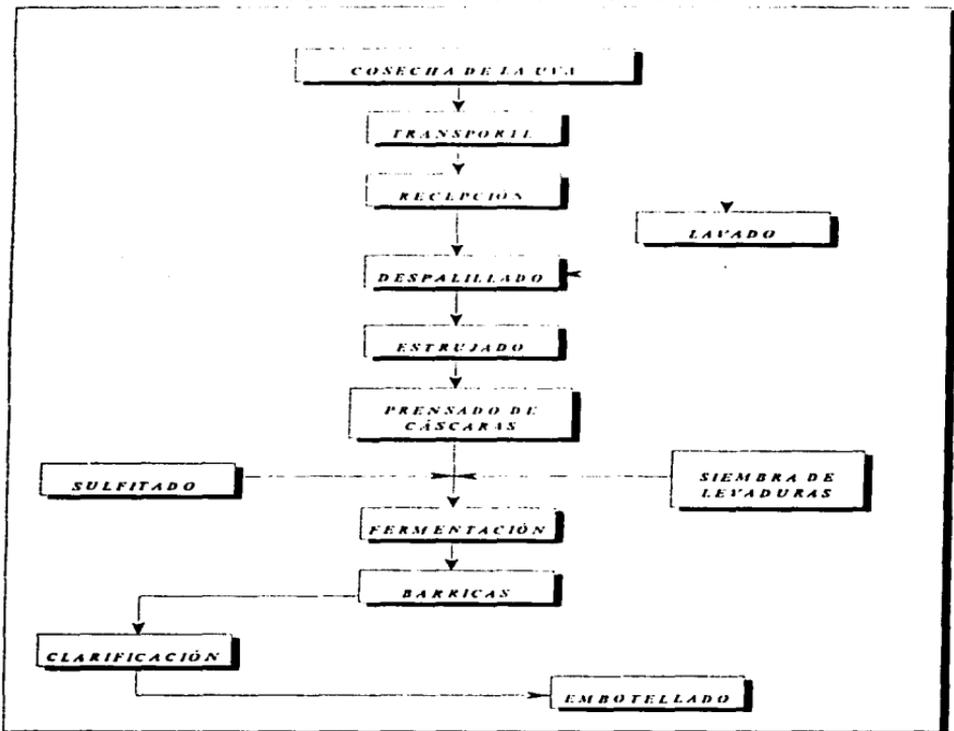
El vino tinto obtenido se pone en barricas para que en ellas madure y desarrolle sus características de sabor, color y *bouquet*. El tiempo de maduración o añejamiento puede oscilar de 2 a 5 años

Antes de embotellar el vino se puede centrifugar o clarificar utilizando agentes naturales como la clara de huevo o la gnetina a fin de arrastrar partículas en suspensión y obtener de esta forma un vino limpio y brillante ⁽¹⁹⁾

1.4.2 VINO BLANCO.

El proceso de elaboración para el vino blanco se esquematiza en la figura 1.5. Como se podrá observar las operaciones de vinificación son prácticamente las mismas, sin embargo como el vino blanco no debe tener color las cáscaras se prensan inmediatamente después del *estrujado* para extraer el jugo que contengan y posteriormente se desechan. De tal forma al tanque de fermentación sólo se enviará el mosto.

La temperatura de fermentación para el vino blanco oscila entre los 10 y 15 °C. El tiempo de fermentación requerido es de 3 a 6 semanas. Además cabe señalar que los vinos blancos se consumen de preferencia *jóvenes*, por lo cual el tiempo de añejamiento es de un año aproximadamente.

FIG 15
PROCESO DE ELABORACIÓN DE VINO BLANCO

1.4.3 VINO ROSADO.

La obtención de vino rosado es un tanto especial ya que se cuenta con varias opciones:

- La primera es tener uvas cuyo color es demasiado tenue, razón por la cual se les puede considerar como rosadas y de esta forma se utilizará la misma técnica que se emplea en la elaboración de vinos tintos
- La segunda opción es elaborarlo a partir de uvas tintas, siguiendo el mismo proceso de elaboración del vino tinto, pero tomando muestras diariamente del mosto en fermentación de tal forma que se pueda evaluar el incremento de color. Cuando éste ha alcanzado el tono deseado se separan las cascavas y se deja continuar la fermentación hasta el final.
- Otra opción consiste en procesar uvas tintas con uvas blancas, siguiendo los pasos de vinificación que se emplean para el tinto. Con las proporciones adecuadas de cada tipo de uva la materia colorante quedará diluida en un volumen mayor por lo cual se tendrá una tonalidad rosa.
- La última opción que se tiene es mezclar vino blanco con vino tinto en las proporciones suficientes para obtener un vino con tonalidad rosada, sin embargo esta operación además de no ser muy ortodoxa, en la actualidad prácticamente nadie la utiliza.

El tiempo y la temperatura de fermentación para el vino rosado son similares a las empleadas para la elaboración de vinos blancos. Asimismo los vinos rosados se consumen preferentemente *jovenes* con un año de añejamiento puesto que su delicado color puede tomarse ambar.

1.5 LA DESALCOHOLIZACIÓN DE VINOS.

La desalcoholización de vinos es un proceso que ha surgido como respuesta a problemas que han tenido en los últimos años los países productores de vino y aquellos países donde el consumo de bebidas alcohólicas es muy grande

Por un lado, los países tradicionalmente productores de vino han tenido una producción excesiva, la cual se acentúa aun más por la tendencia mundial a disminuir el consumo de vino y sustituirlo por otras bebidas con menor contenido alcohólico, como la cerveza, o por bebidas no alcohólicas bajas en calorías

Por otro lado los graves problemas de alcoholismo que sufren los países en donde el consumo de bebidas de alto contenido alcohólico es muy popular (países nórdicos principalmente) ha creado la posibilidad de que la industria vinícola elabore bebidas de bajo contenido alcohólico que sirvan como coadyuvante en la lucha contra esta terrible enfermedad. Este tipo de vinos comúnmente son llamados *vinos ligeros* o *light*.

Para obtener vinos de bajo contenido alcohólico se pueden seguir dos procedimientos alternativos: reducir la producción de alcohol durante la fermentación (a través del paro de la misma mediante el empleo del fin) o mediante la eliminación del alcohol en el vino ya producido. Para realizar esta operación se cuentan con diversos métodos de desalcoholización

1.5.1 MÉTODOS DE DESALCOHOLIZACIÓN.

Entre los principales métodos de desalcoholización se pueden mencionar los siguientes:

- Utilización de membranas aplicando ósmosis inversa

- Extracción
- Por rectificación en columna
- Por evaporación

El empleo de membranas puede presentar problemas de oclusión y de filtración lenta o incompleta.

La extracción se puede realizar con disolventes orgánicos, como el *n*-pentano, CO₂ o con gases en estado supercrítico, pero esto implica costos elevados en instalación y funcionamiento.

La destilación en columna se ha presentado como un buen método de desalcoholización, pero requiere de una elevada inversión en equipo.

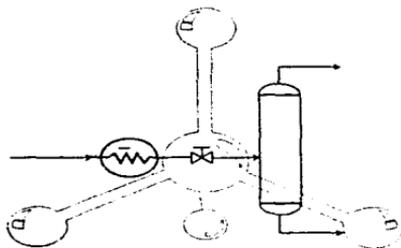
Por su parte la evaporación ha sido el método más utilizado en los últimos años. Se han empleado evaporadores de película y evaporadores flash a vacío con excelentes resultados.⁽¹³⁾

El proceso de evaporación flash consiste en evaporar parcialmente el producto, con lo que se elimina el etanol junto con el agua y los aromas, los cuales se reincorporan al producto al ser recuperados en una columna de destilación.

En el siguiente capítulo se profundizará más acerca de este proceso.

CAPÍTULO II:

EL PROCESO DE EVAPORACIÓN FLASH.



2.1 DEFINICIÓN Y UTILIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.

La evaporación flash, llamada también destilación flash, instantánea, cerrada o de equilibrio, consiste fundamentalmente en vaporizar una determinada fracción del líquido, procediendo de tal forma que el vapor que se genera esté en equilibrio con el líquido residual, separar el vapor del líquido y condensar finalmente el vapor producido⁽²⁵⁾. Este proceso se verifica en una sola etapa y se puede operar por lotes o en régimen continuo.

Este proceso se ha empleado en gran escala en las operaciones de refinación del petróleo. Sin embargo, dentro de la industria alimentaria se ha utilizado para la producción de agua potable, en la desulfitación del mosto de uva, en la recuperación y concentración de compuestos aromáticos de jugos de frutas y, como ya se ha mencionado con anterioridad en la desalcoholización de vinos.⁵

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

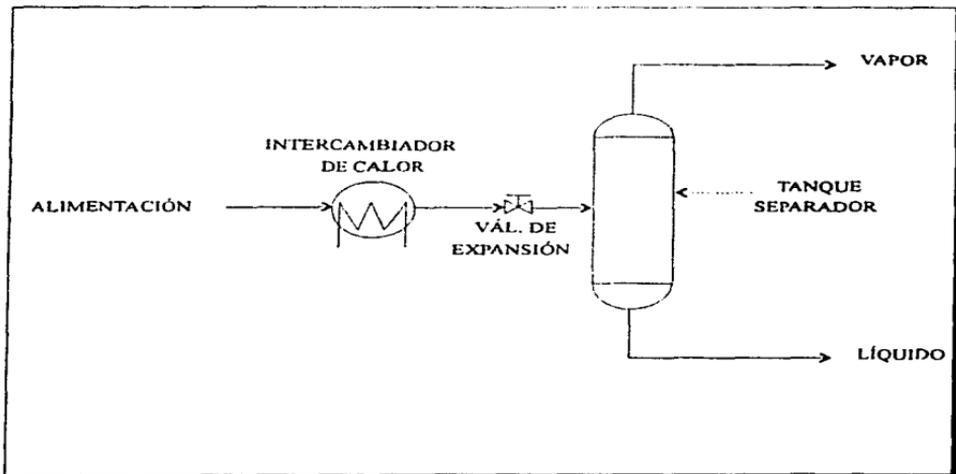
El proceso de evaporación flash y el equipo que se emplea en esta operación es relativamente sencillo en comparación de otros procesos de separación. En la figura 2.1 se esquematizan los elementos típicos de un sistema de evaporación flash isotérmico.

La alimentación se calienta en un intercambiador de calor y posteriormente se hace circular a través de una válvula de expansión, produciéndose una caída de presión a entalpía constante. Debido a esta reducción de presión una parte del líquido se vaporizará adiabáticamente con lo cual se producirá una

⁵ Ver 1.5.1 MÉTODOS DE DESALCOHOLIZACIÓN

intima mezcla de líquido y vapor, la cual se introduce a un tanque separador en donde permanece el tiempo suficiente para que se lleve a cabo la separación de las dos fases. Debido al íntimo contacto entre el líquido y el vapor, las corrientes que se separan estarán en equilibrio. El líquido se descarga por la parte inferior y el vapor producido que sale por la parte superior se lleva hasta un condensador.

FIG. 2.1
PROCESO DE EVAPORACIÓN FLASH ISOTÉRMICO ⁽⁴³⁾



El intercambiador de calor que comúnmente se utiliza es de tipo tubular y la válvula de expansión suele ser de tipo aguja. El tanque separador puede ser de dos tipos: horizontal o vertical, dependiendo de la cantidad de líquido a separar, si este es demasiado grande en comparación con el vapor producido se recomienda generalmente los de tipo horizontal.

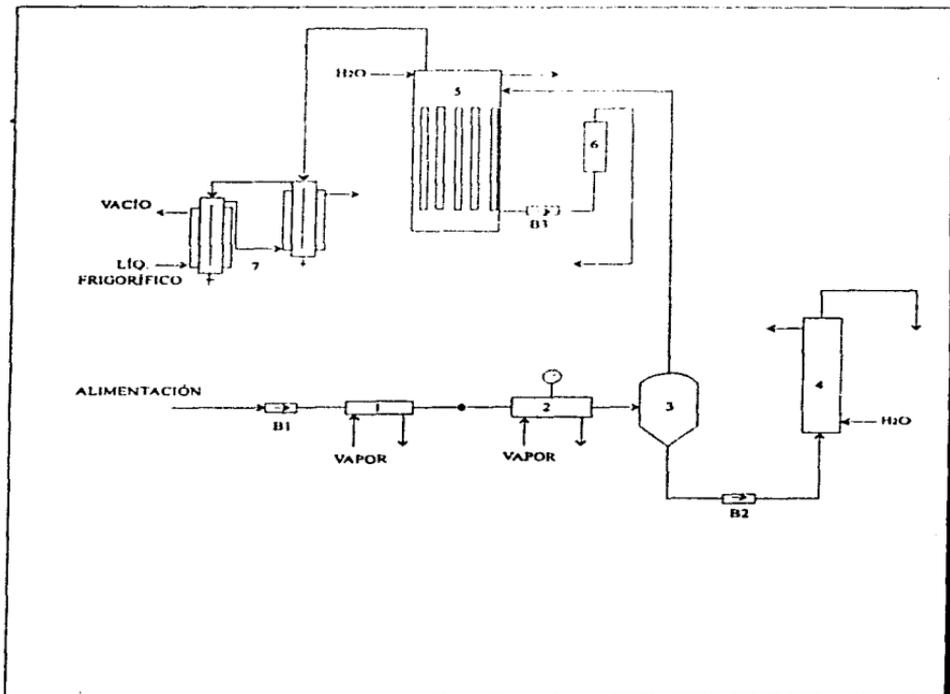
También es conveniente utilizar mallas eliminadoras de arrastre, para evitar al máximo que el vapor producido contenga cierta parte del líquido.

Otro ejemplo de separador es el de tipo ciclón, en el cual la alimentación se introduce tangencialmente en un espacio anular cubierto, la parte líquida se arroja mediante fuerza centrífuga hacia la pared externa y sale por el fondo, mientras que el vapor sube a través de la chimenea central y sale por la parte superior.

Para realizar experimentos de desalcoholización de vinos por evaporación flash, Ma. D. Salvador ⁽³⁸⁾ utilizó un equipo piloto *Umpekm* tipo P20'5 modificado, el cual se esquematiza en la figura 2.2.

En la figura anterior el líquido es impulsado por la bomba *B-1* a través de un intercambiador de calor tubular (1) que actúa de precalentador y se introduce en el evaporador (2) a través de una válvula de retención, produciéndose una evaporación parcial.

La mezcla líquido vapor llega al ciclón (3), donde se separan ambas fases.

FIG. 2.2
PLANTA PILOTO PARA LA DESALCOHOLIZACIÓN DE VINOS (18)

El producto líquido se recoge en la parte inferior y se extrae fuera del sistema mediante la bomba B-2 pasando finalmente a través de un refrigerante (4). La fase evaporada, que está constituida por vapor de agua, alcohol y aromas, abandona el ciclón por la parte superior y llega a un condensador (5) formado por un haz tubular, en donde se condensan los vapores proporcionando una disolución acuosa de alcohol y los demás componentes volátiles, y el condensado así obtenido se impulsa mediante la bomba B-3 a través de un rotámetro (6). Los aromas que no se condensan en (5) se arrastran con los gases incondensables y se recuperan mediante dos condensadores adicionales colocados en serie (7) y refrigerados con agua glicolada a 0 °C.

Como podrá apreciarse, la desalcoholización de vinos puede dividirse en dos operaciones fundamentales, la primera consiste en la desalcoholización propiamente dicha en la cual es separado el alcohol por evaporación flash, y la segunda operación consiste en recuperar los aromas separados durante el proceso, a fin de reincorporarlos al vino desalcoholizado, con lo cual se obtiene un producto de excelente calidad y que cumple con los objetivos de la desalcoholización⁴.

Así pues aunque esta tesis se enfoca exclusivamente al proceso de evaporación flash, es importante señalar que las operaciones de recuperación de aromas son muy importantes para obtener productos de buena calidad ya que si estos compuestos no estuvieran presentes el producto final sufriría grandes cambios en sus características sensoriales. Sin embargo las operaciones de recuperación de aromas quedan fuera de los objetivos de esta tesis.

⁴ Ver 1.5.1.1 DESALCOHOLIZACIÓN DE VINOS

2.3 ASPECTOS TERMODINÁMICOS DE LA EVAPORACIÓN FLASH.

2.3.1 EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR.

Como ya se mencionó la evaporación flash es un proceso de separación en el cual el líquido y el vapor generados están en equilibrio. Por esta razón es preciso analizar las relaciones de equilibrio que existen en las fases vapor y líquido. El equilibrio es una condición estática en la que no ocurren cambios en las propiedades macroscópicas de un sistema con el tiempo.

Para que exista este equilibrio de fases es necesario que las temperaturas, las presiones totales ejercidas y los potenciales químicos de las fases vapor y líquido sean iguales. Aunque estrictamente nunca se logra esto ya que para ello sería necesario tener un área de contacto infinita y un tiempo de contacto infinito entre ambas fases; para la ingeniería aplicada esta hipótesis de equilibrio se justifica cuando permite obtener resultados de precisión aceptable.⁽¹⁴⁾

Para comenzar el análisis de las relaciones de equilibrio se considerarán inicialmente las mezclas binarias, en las cuales el componente *A* se considerará como el más volátil y el componente *B* como el menos volátil.

Posteriormente se analizarán las mezclas ideales de multicomponentes y finalmente el comportamiento de las soluciones que se desvían de la idealidad.

En el equilibrio liquido-vapor de una mezcla binaria están relacionadas tres variables independientes que son la temperatura, la presión y la concentración, siendo la forma más común de expresar la concentración en fracción mol (x para el líquido e y para el vapor).

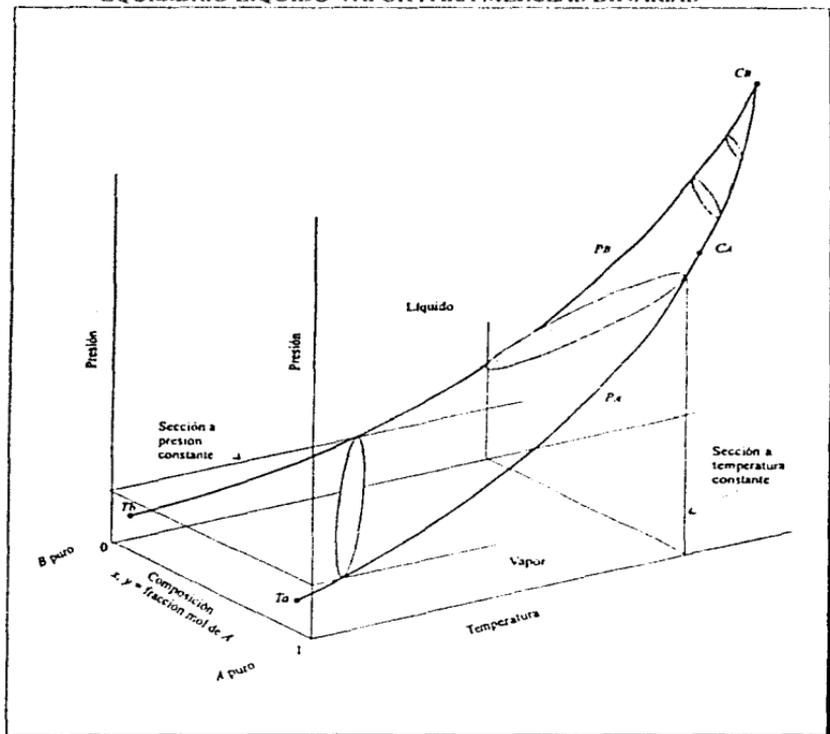
Así pues la representación gráfica completa del equilibrio binario liquido-vapor es un diagrama tridimensional como el que se muestra en la figura 2.3.

La curva señalada PA es la curva de presión de vapor de A , cae completamente en el plano de composición más cercano a $x=1$. La curva se extiende desde su punto crítico CA hasta su punto triple T_0 , pero las complicaciones de la fase sólida no se consideran.

De manera parecida, la curva PB es la presión de vapor de B puro, en el plano más alejado a $x=0$. Las regiones del líquido y el vapor en las composiciones entre $x=0$ y 1 están separadas por una superficie doble que se extiende desde PA hasta PB .

La forma de esta superficie doble se puede estudiar más fácilmente considerando secciones a temperatura o a presión constante.⁽⁴⁵⁾

Puesto que el equilibrio a presión constante es la forma bajo la cual más comúnmente se operan los sistemas de evaporación flash analizaremos el diagrama de equilibrio liquido-vapor a presión constante, conocido como diagrama temperatura-composición o diagrama de puntos de ebullición.

FIG. 2.3
EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR PARA MEZCLAS BINARIAS (45)

2.3.2 DIAGRAMA DE PUNTOS DE EBULLICIÓN.

En la figura 2.4 se representa dicho diagrama. En este diagrama T_1 y T_2 corresponden a las temperaturas de ebullición del componente más volátil y menos volátil respectivamente. La curva superior se denomina curva de principio de condensación o de final de ebullición. La curva inferior se denomina curva de principio de ebullición o de final de condensación.

Cualquier punto que se encuentre por encima de la curva superior, tal como el punto C corresponde a una mezcla de los componentes A y B en el estado vapor, la cual si es enfriada a presión constante iniciará su condensación en el punto D a la temperatura T_1 dando lugar a un vapor saturado de composición xC en equilibrio con el líquido saturado de composición yD . Cualquier punto que se encuentre por debajo de la curva inferior, como el punto E , representa una mezcla líquida de composición xE , la cual al ser calentada a presión constante hasta la T_2 dará lugar a un líquido saturado en equilibrio con un vapor saturado de composición yE . Cualquier punto comprendido entre las dos curvas como el punto F , representa una mezcla de líquido y vapor que, en el equilibrio entre fases a la temperatura T_2 , dará lugar a un líquido de composición xF y a un vapor de composición yF .

Una forma alternativa de presentar parte de la información del diagrama de puntos de ebullición es a través del diagrama de equilibrio x - y que se representa en la figura 2.5. En este diagrama se representan las composiciones del líquido frente a las del vapor en equilibrio a presión total constante. En este diagrama cada punto de la curva de equilibrio x - y está a una temperatura diferente pero no especificada. Este diagrama es muy útil para la resolución gráfica de problemas de evaporación flash para mezclas binarias.

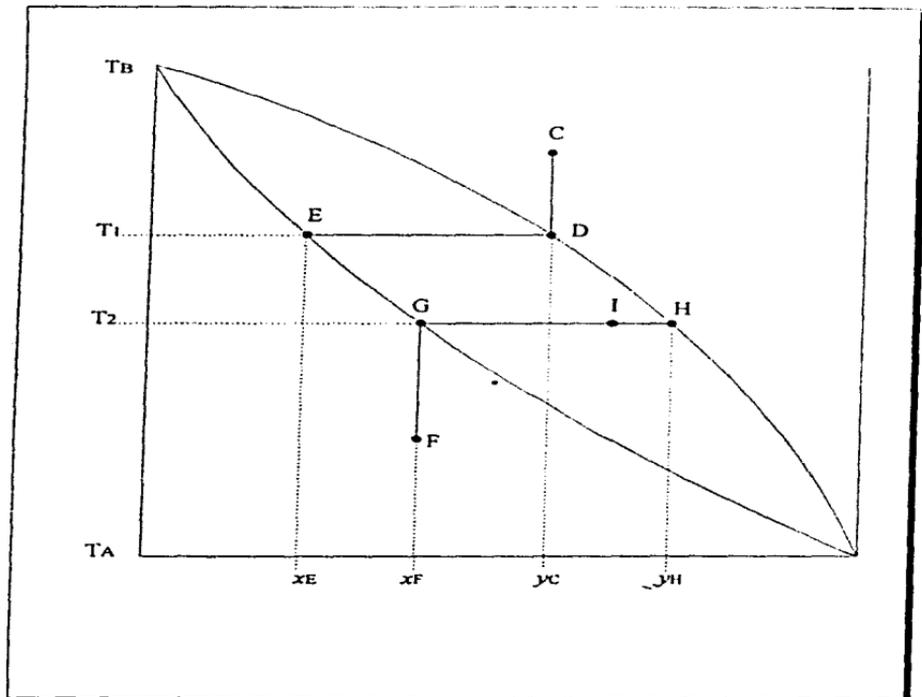
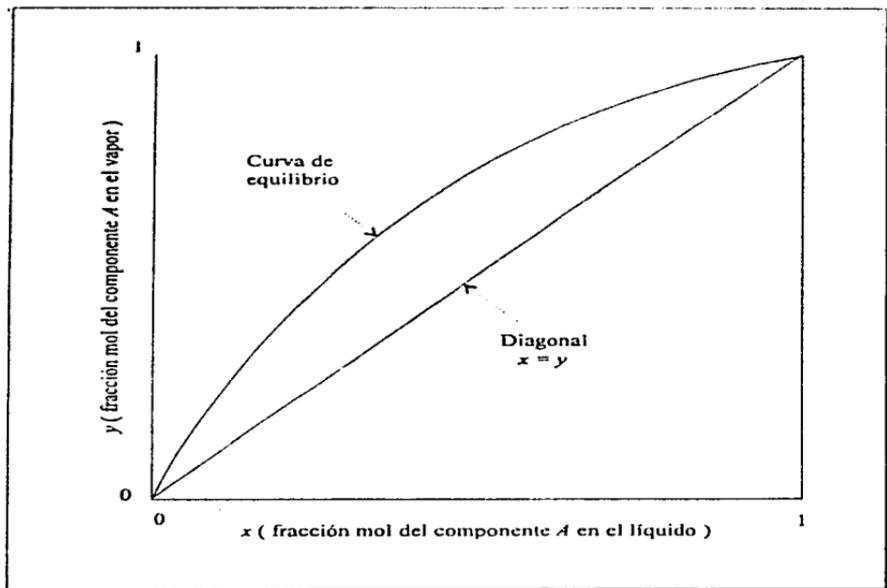
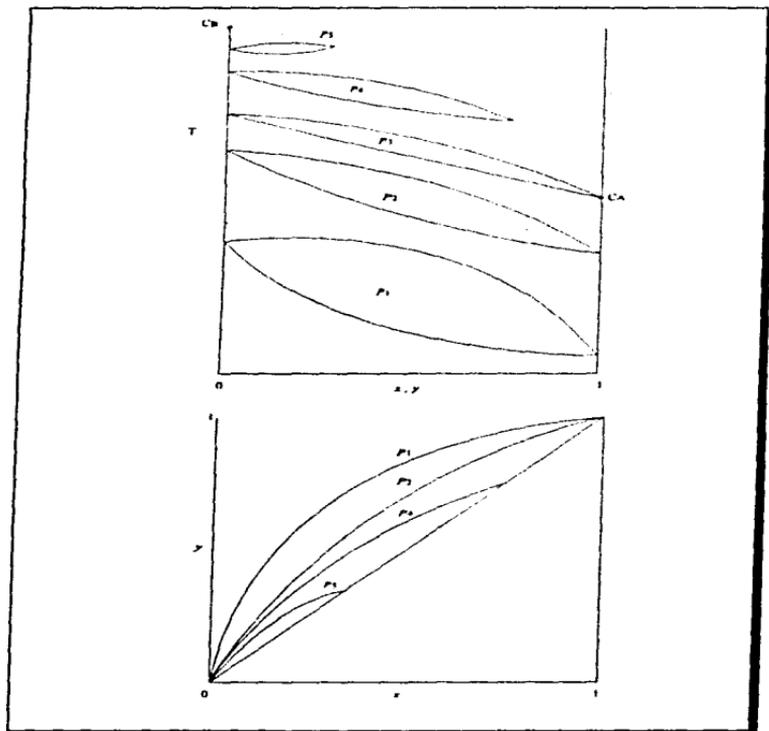
FIG 2-4
DIAGRAMA DE PUNTOS DE EBULLICIÓN (°C)

FIG. 2.5
DIAGRAMA DE EQUILIBRIO X-Y

Para señalar la influencia de la presión total (P) en el equilibrio líquido-vapor se presenta la figura 2.6.

En dicha figura $P_1 < P_2 < P_3 < P_4 < P_5$.

FIG. 2.6
INFLUENCIA DE LA PRESIÓN EN EL EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR ⁽⁴⁵⁾

Como podria observarse en la figura anterior, conforme aumenta la presión las curvas anilladas se presentan a una mayor temperatura y cada vez mas cerradas. Así pues la separabilidad es menor conforme aumenta la presión. Cuando se supera la presión crítica de un componente entonces deja de existir una distinción en las fases vapor y líquido para ese componente y sus mezclas, tal como se puede apreciar en la figura 2.6 a presiones mayores a P^c que, en este ejemplo, es la presión crítica del componente A .

Debe ser evidente que operar con un sistema de evaporación flash a presiones bajas trae consigo dos ventajas principales. Por un lado se tiene un proceso que no daña térmicamente a los productos, en nuestro caso en particular a los vinos, con lo cual se podrán conservar al máximo las propiedades y cualidades sensoriales de los productos elaborados, y por otro lado la separación será mucho más eficiente. Sin embargo, se debe tener cuidado de no trabajar con presiones lo suficientemente bajas como para que se dificulte la condensación de los vapores producidos.

2.3.3 LA LEY DE RAOULT.

Los diagramas anteriormente descritos, de puntos de ebullición y de equilibrio $v-v$, generalmente se construyen a partir de datos obtenidos experimentalmente. Sin embargo cuando se trata de soluciones ideales se pueden determinar los datos para la construcción de dichos diagramas a partir de las presiones de vapor de los componentes puros.

Este comportamiento ideal se presenta en soluciones cuyos componentes tengan una gran similitud química, cuyas moléculas son de tamaño semejante y de la misma naturaleza química, como por ejemplo una mezcla de isómeros *orto* y *para*-xileno, o bien mezclas de miembros adyacentes de series homólogas como *n*-hexano *n*-heptano, etanol/propanol y benceno/tolueno ⁽¹⁴⁾.

Este tipo de soluciones obedecen la ley de Raoult, según la cual la presión de vapor de cada componente es igual al producto de la fracción molar de dicho componente en la fase líquida multiplicada por la presión de vapor del componente puro a la misma temperatura⁽¹⁰⁾. Es decir:

$$P_A = x_A P_A^* \quad (1)$$

donde: P_A = presión de vapor del componente A

x_A = fracción molar de A en la fase líquida

P_A^* = presión de vapor del componente A puro.

De igual forma:

$$P_B = x_B P_B^* \quad (2)$$

Ahora bien, como:

$$x_A + x_B = 1 \quad (3)$$

entonces la ec. (2) se puede escribir de la siguiente forma

$$P_B = (1 - x_A) P_B^* \quad (4)$$

Si la mezcla cumple con la Ley de Dalton, y si la fase vapor también tiene un comportamiento ideal, entonces la presión total necesaria para que la mezcla alcance su punto de ebullición será:

$$P = P_A + P_B \quad (5)$$

o bien: $P = x_A P_A^* + (1 - x_A) P_B^* \quad (6)$

Despejando x_A de la ec. (6) tenemos

$$x_A = \frac{P - P_B^*}{P_A^* - P_B^*} \quad (7)$$

Por otro lado, como la fracción molar de la fase vapor es la relación entre la presión parcial de vapor y la presión total, tenemos que

$$y_A = P_A / P \quad (8)$$

$$y_B = P_B / P \quad (9)$$

donde y_A, y_B = fracción mol de los componentes en la fase vapor.

P_A, P_B = presiones parciales de vapor de los componentes.

Ahora bien, sustituyendo las ec. (1) y (2) en las ec. (8) y (9) respectivamente, obtenemos que:

$$y_A = x_A P_A^* / P \quad (10)$$

$$y_B = x_B P_B^* / P \quad (11)$$

Para determinar la presión de vapor de los componentes puros se puede utilizar la ecuación de Antoine:

$$\ln P^* = A - [B / (T + C)] \quad (12)$$

donde P^* = presión de vapor del componente puro

A, B, C = constantes de Antoine

T = temperatura

Las constantes de la ec. de Antoine A, B y C se calculan mediante un ajuste de curvas contra datos medidos experimentalmente en el diagrama *presión-temperatura* para cada componente puro, dentro de intervalos apropiados de temperatura y presión. En el Apéndice B, se encuentran los valores de las constantes de Antoine para algunos componentes puros.

2.3.4 VOLATILIDAD RELATIVA.

Se conoce como volatilidad de un componente en una mezcla a la relación entre la presión parcial de vapor del componente y su concentración en la fase líquida, es decir:

$$\text{Volatilidad de } A = P_A / x_A \quad (13)$$

y

$$\text{Volatilidad de } B = P_B / x_B \quad (14)$$

Al cociente resultante de dividir la volatilidad del componente más volátil entre la volatilidad del componente menos volátil se le llama *volatilidad relativa*, α . Es decir:

$$\alpha = \frac{P_A / x_A}{P_B / x_B} \quad (15)$$

Sustituyendo las ec. (8) y (9) en la ec. (15) obtenemos la siguiente expresión:

$$\alpha = (y_A/x_B) / (y_B/x_A) \quad (16)$$

Por otro lado, si se sustituye la Ley de Raoult en la ec. (15), es decir las ec. (1) y (2), se obtiene la siguiente relación:

$$\alpha = P_A^* / P_B^* \quad (17)$$

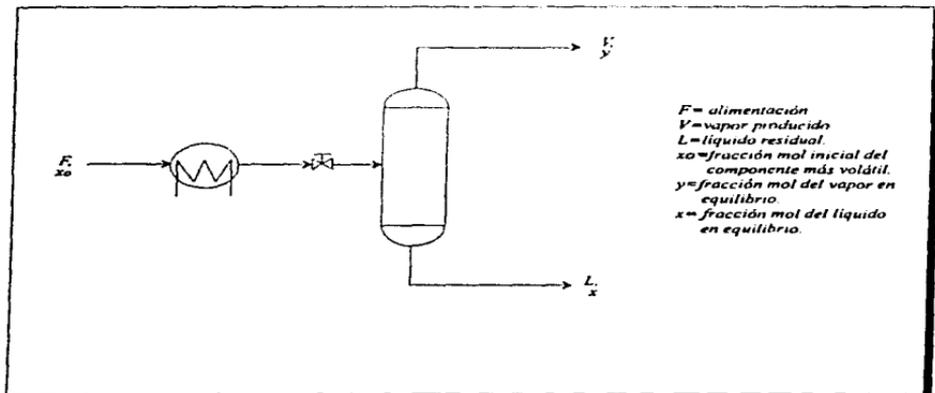
La volatilidad relativa es una medida de la posibilidad de separación de dos componentes en una mezcla líquida. Cuando el valor de α es igual a 1, entonces no es posible separar los componentes por evaporación flash o por algún otro método de destilación. Así mismo el valor de α no puede ser fraccionario, ya que A es siempre el componente más volátil y por consiguiente la presión de vapor de este componente será mayor que la del componente menos volátil B . Mientras más grande sea el valor de α , es decir $\alpha \gg 1$, mayor será la distancia entre la curva de equilibrio y la diagonal de la figura 2.5, mayor será la diferencia en las composiciones del líquido y el vapor, y mayor será la facilidad para separar los componentes A y B por evaporación flash.

En términos estrictos, α es función de la temperatura, sin embargo, para algunas mezclas permanece prácticamente constante en el intervalo normal de operación.

2.3.5 CÁLCULO DE EVAPORACIÓN FLASH MEDIANTE LOS DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO.

Cuando se tiene una mezcla binaria es posible realizar el cálculo de evaporación flash mediante el uso de los diagramas anteriormente descritos. Para esto es necesario realizar primero un balance de materia aplicado a todo el sistema y al componente más volátil. La esquematización de dicho balance se presenta en la figura 2.7

FIG. 2.7
BALANCE DE MATERIA EN EL EVAPORADOR FLASH



De acuerdo a la figura anterior, el balance total de materia es:

$$F = L + V \quad (18)$$

y el balance aplicado al componente más volátil es

$$x_1 F = x_1 L + y_1 V \quad (19)$$

A partir de la ec. (19) se puede obtener la siguiente expresión

$$\frac{L}{F} = \frac{y_1 - x_1}{x_1 - y_1} \quad (20)$$

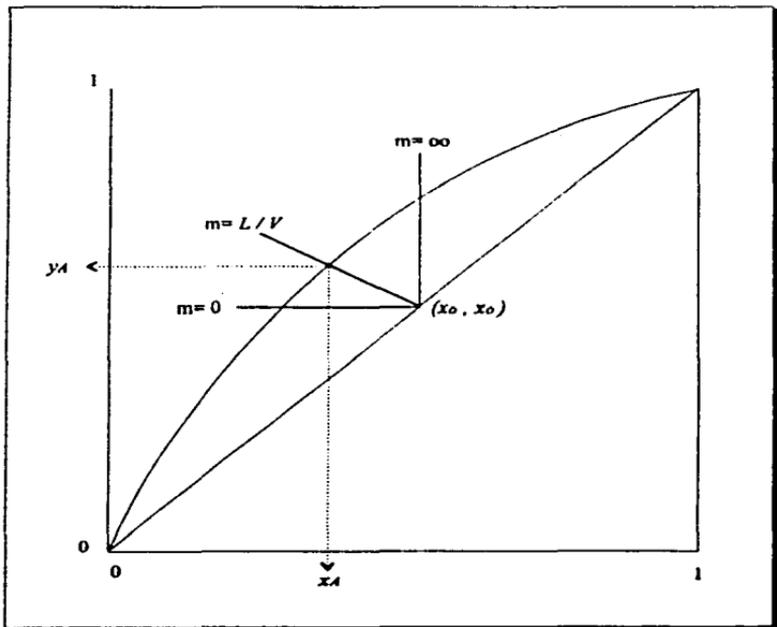
La ec. (20) es la relación entre la cantidad de líquido residual (L), y la cantidad de vapor producido (V) en función de la composición inicial del líquido (x_1), y las composiciones del líquido y el vapor en el equilibrio (x_1, y_1), a la temperatura y presión de operación. De esta ecuación, despejando a y_1 se obtiene la siguiente expresión

$$y_1 = (L/V)x_1 + (F - L)y_1 \quad (21)$$

En el diagrama de equilibrio de la figura 2.8 la ec. (21) representa una línea recta de pendiente $-(L/V)$ y ordenada al origen $(F - L)y_1$, la cual une al punto (x_1, y_1) de la diagonal del diagrama de equilibrio $x-y$ con la curva de equilibrio en el punto (x_1, y_1) . Así pues las composiciones de equilibrio dependen de la relación $-(L/V)$.

Como se podía observar en la figura 2.8, las composiciones de equilibrio están comprendidas entre dos líneas rectas: una de pendiente igual a cero y la otra de pendiente infinita. El primer caso corresponde a la vaporización de todo el líquido inicial, entonces no habría producción de líquido residual y, por lo tanto $L = 0$. Por consiguiente el valor de la pendiente $-(L/V)$ sería también igual a cero. El segundo caso corresponde a una cantidad infinitesimal de vapor separado, en donde $V = 0$ y la pendiente $-(L/V)$ sería lógicamente infinita. Estos casos corresponden al punto de rocío y de burbuja.

FIG. 2.8
LÍNEA DEL BALANCE DE MATERIA EN EL DIAGRAMA DE EQUILIBRIO ⁽³⁰⁾



respectivamente. Debe ser evidente que en la práctica estos casos extremos no tienen sentido, y que para poder separar una mezcla por evaporación flash, se debe llevar a cabo la operación entre los puntos de rocío y de burbuja.

Una vez conocidos los valores de la composición del vapor y del líquido en el equilibrio, se puede determinar la temperatura a la cual se verifica la vaporización de la mezcla mediante el uso del diagrama de puntos de ebullición de dicha mezcla.

Como podrá observarse para realizar el cálculo de evaporación flash por este método es necesario conocer o especificar la composición inicial (x_F), P , F , L y T .

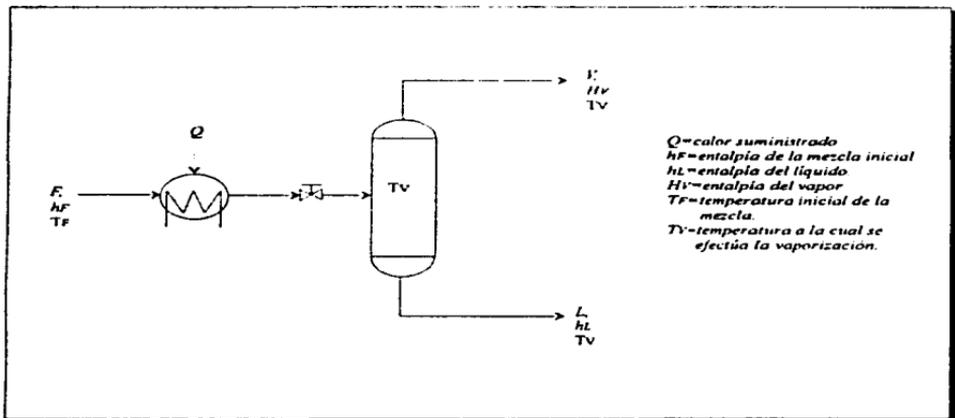
Para determinar la cantidad necesaria de calor para llevar a cabo la operación es preciso realizar un balance de energía aplicado alrededor de todo el sistema. De acuerdo a la figura 2.9 el balance de energía es:

$$F h_F + Q = V' H_V + L h_L \quad (22)$$

o bien:

$$Q = V' H_V + L h_L - F h_F \quad (23)$$

FIG. 2.9
BALANCE DE ENERGÍA EN EL EVAPORADOR FLASH



A su vez las entalpias se pueden calcular a través de las siguientes ecuaciones:

$$h_F = x_A M_A C_{LA}^- (T_1 - T_0) + x_B M_B C_{LB}^- (T_1 - T_0) + \Delta H_m \quad (24)$$

$$h_L = x_A M_A C_{LA}^- (T_1 - T_0) + x_B M_B C_{LB}^- (T_1 - T_0) + \Delta H_m \quad (25)$$

$$h_V = y_A M_A [C_{LA}^- (T_1 - T_0) + \lambda_A] + y_B M_B [C_{LB}^- (T_1 - T_0) + \lambda_B] \quad (26)$$

Donde

M_A, M_B = pesos moleculares de los componentes A y B

C_{LA} y C_{LB} = calores específicos promedio de los componentes A y B en el estado líquido

ΔH_m = calor de mezcla, igual a cero para soluciones ideales y generalmente muy pequeño en comparación de los demás términos, por lo cual se desprecia

λ_A y λ_B = calores latentes de los componentes A y B , evaluados a la temperatura de vaporización de la mezcla (T_V)

T_f = temperatura final

T_0 = temperatura de referencia

Para el caso en el cual se determine la T_0 como la temperatura inicial de la mezcla (T_F), entonces en la ec (24) $T_f - T_F$ sera igual a cero y h_f tambien. Para el caso de h_f y H_f , T_f seria igual a la temperatura de vaporización de la mezcla (T_V), la cual ha sido evaluada previamente a través del diagrama de puntos de ebullicion

De acuerdo a lo anterior el balance de energia para el sistema de evaporacion flash, ec. (23), se puede expresar como:

$$Q = V H_f + L h_f \quad (27)$$

y el calculo de las entalpias se realiza por las siguientes ecuaciones

$$h_f = x_A M_A C_{LA}^* (T_V - T_F) + x_B M_B C_{LB}^* (T_V - T_F) \quad (28)$$

$$H_f = y_A M_A [C_{LA}^* (T_V - T_F) + \lambda_A] + y_B M_B [C_{LB}^* (T_V - T_F) + \lambda_B] \quad (29)$$

Para determinar los calores latentes de vaporización y los calores específicos promedio de los componentes, se pueden utilizar las figuras 3-9 y 3-11 del *Manual del Ing. Químico*⁴³. Una reproducción de dichas figuras se encuentra en el Apéndice C.⁷

Cabe señalar que para la resolución de problemas de evaporación flash para mezclas binarias se puede utilizar otro método gráfico en el cual se utiliza el diagrama entalpía-concentración, pero éste resulta menos conveniente para resolver problemas de evaporación flash que el diagrama de equilibrio x - y . Sin embargo presenta la ventaja de que permite una rápida estimación de las necesidades de calor.⁴⁵

2.3.6 CÁLCULO DE EVAPORACIÓN FLASH PARA MEZCLAS MULTICOMPONENTE.

Cuando una mezcla contiene más de dos componentes no es posible realizar el cálculo de evaporación flash para esas mezclas a través de los diagramas termodinámicos descritos anteriormente. Así pues es necesario realizar un procedimiento de cálculo diferente para poder determinar las composiciones del líquido y del vapor producido (x e y respectivamente). Para aplicar el procedimiento que a continuación se describe es necesario conocer o definir la composición inicial de los i componentes, la temperatura y la presión.⁴⁴

En primer término definiremos la relación de la distribución de fases como

$$K_i = y_i / x_i \quad (30)$$

⁴⁴ Una forma alternativa de calcular el calor latente de vaporización sería utilizando la primera ecuación de *Clausius Clapeyron*, la cual indica que en la gráfica de la presión de vapor contra el inverso de la temperatura el calor latente es proporcional a la pendiente. Esta hipótesis es aproximadamente válida solo cuando se trabaja a bajas presiones.

donde:

K_i = coeficiente de distribución

y_i = composición del componente i en la fase vapor, expresada como fracción mol

x_i = comp. del componente i en la fase líquida, expresada como fracción mol

$i = 1, 2, 3 \dots j$ componentes

Como puede observarse en la ec (30) el coeficiente de distribución K_i es la relación entre la composición del componente i en la fase vapor y su composición en la fase líquida. Para el caso de mezclas ideales el coeficiente de distribución es función únicamente de la temperatura y presión. Además, de acuerdo a la Ley de Raoult, utilizando la ec. (10), obtenemos la siguiente expresión

$$y_i P = x_i P_i^* \quad (31)$$

o bien:

$$y_i / x_i = P_i^* / P \quad (32)$$

Sustituyendo la ec.(32) en la ec (30) se obtiene la sig. expresión para el coeficiente de distribución:

$$K_i = P_i^* / P \quad (33)$$

El balance total de materia es el mismo descrito anteriormente por la ec.(18), y el balance por componente sería:

$$z_i F = x_i L + y_i V \quad (34)$$

En donde:

z_i = composición inicial del componente i expresada como fracción mol.

Si se toma como base de cálculo una alimentación inicial de $F = 1$ mol, entonces a partir del balance

global se obtiene:

$$1 = L + V \quad (35)$$

o bien:

$$L = 1 - V \quad (36)$$

Sustituyendo la ec.(36) en la ec.(34) se obtiene que:

$$z_i = (1 - V) x_i + V y_i \quad (37)$$

Sustituyendo la ec (30) en la ec (37) y despejando el valor de y_i , llegamos a la siguiente expresión:

$$y_i = \frac{z_i K_i}{1 + V'(K_i - 1)} \quad (38)$$

Si la ec.(38) se divide entre el valor de K_i descrito por la ec (30), se obtiene la siguiente expresión:

$$x_i = \frac{z_i}{1 + V'(K_i - 1)} \quad (39)$$

Como $\sum x_i = \sum y_i = 1$, si se suma la ec (38) a todos los componentes y si a dicha suma se le resta la unidad, la diferencia F_y debe ser igual a cero, es decir

$$F_y = \sum \frac{z_i K_i}{1 + V'(K_i - 1)} - 1 = 0 \quad (40)$$

De igual forma, de la ec (39) se puede expresar la diferencia F_x como:

$$F_x = \sum \frac{z_i}{1 + V'(K_i - 1)} - 1 = 0 \quad (41)$$

Debe notarse que en las ec.(40) y (41), V' representa la única incógnita, ya que z_i está especificada y K_i se conoce debido a que se especifican la presión y la temperatura. Así pues, cuando se encuentre el valor de V' que satisfaga cualquiera de estas dos ecuaciones, entonces se habrá dado solución al problema de evaporación flash. Debido a que es necesario llevar a cabo un proceso iterativo para dar solución a este

problema, es más conveniente utilizar la diferencia $Fy - Fx = F$ para emplearse en un procedimiento general de solución, es decir:

$$F = \sum \frac{z_i(K_i - 1)}{1 + V'(K_i - 1)} = 0 \quad (42)$$

Si se deriva la ec.(42) con respecto a V se obtiene:

$$\frac{dF}{dV} = -\sum \frac{z_i(K_i - 1)^2}{[1 + V'(K_i - 1)]^2} \quad (43)$$

Como en la ec.(43) dF/dV siempre es negativo la relación F en función de V es monótonica, de tal forma que el método de *Newton-Raphson* resulta un procedimiento de iteración adecuado para V .⁽⁴⁴⁾ El método de *Newton-Raphson* para este caso da:

$$V_{j+1} = V_j - \frac{F_j}{(dF/dV)_j} \quad (44)$$

en donde j es el índice de iteración y F_j y $(dF/dV)_j$ se obtienen a través de las ec.(42) y (43) respectivamente. Para una rápida convergencia se puede partir de un valor inicial de V igual a 0.5.

Una vez conocido el valor de V , se puede determinar la cantidad de líquido residual a partir de la ec.(36), la composición de la fase vapor, y_i , con la ec.(38), y la del líquido, x_i , a través de la ec.(30).

Es importante señalar que antes de iniciar el cálculo de la evaporación flash se debe cerciorar que el sistema esté en la región difásica, es decir entre los puntos de burbuja y de rocío. Esto para asegurar que el sistema sea una mezcla en equilibrio líquido-vapor.

Un sistema difásico, a una temperatura dada y con una composición inicial conocida, puede existir en un amplio intervalo de presiones, desde la presión de burbuja, P_b , en donde $V=0$ y $z_i = x_i$; hasta la presión de rocío, P_r , donde $V=1$ y $z_i = y_i$. Si la presión del sistema es menor a la P_r , entonces toda la

alimentación pasará al estado vapor. Por otro lado, si la presión es mayor a la P_b entonces se obtendrá solamente líquido.

El cálculo de la presión de burbuja, se realiza a partir de la Ley de Raoult, expresada en la ec.(31).

Como la $\sum y_i = 1$, entonces a partir de la ec (31) se obtiene

$$P_b = \sum x_i P_i^* \quad (45)$$

con $x_i = z_i$.

El cálculo de la presión de rocío se realiza en forma análoga a la anterior, es decir a partir de la Ley de Raoult, pero tomando en cuenta que la $\sum y_i = 1$, se obtiene que:

$$P_r = 1 / (\sum y_i / P_i^*) \quad (46)$$

con $y_i = z_i$.

El balance de energía para las mezclas de multicomponentes es idéntico al descrito en la sección anterior a través de la ec (27). Las entalpías del líquido y el vapor deben calcularse considerando a todos los componentes de la mezcla, es decir:

$$H_L = \sum x_i M_i C_{L,i}^* (TV - TF) \quad (47)$$

$$H_V = \sum y_i M_i [C_{V,i}^* (TV - TF) + \lambda_i] \quad (48)$$

2.3.7 DESVIACIONES DE LA IDEALIDAD.

Hasta este momento se ha analizado el proceso de evaporación flash suponiendo que las mezclas de los componentes tienen un comportamiento ideal, sin embargo para la mayoría de las mezclas la presión total obtenida a una temperatura determinada es distinta a la prevista por la Ley de Raoult,

ec (6), y por lo tanto se dice que estas mezclas presentan desviaciones de la idealidad, las cuales pueden ser de dos tipos: desviaciones positivas (cuando la presión total es mayor a la prevista por la Ley de Raoult) o bien desviaciones negativas, siendo mucho más abundantes las mezclas que presentan desviaciones del primer tipo

Sin embargo cuando la concentración en la fase líquida de un componente, x_i , se aproxima a la unidad, entonces su comportamiento se asemeja al previsto por la Ley de Henry, en la cuál la presión de vapor de un componente es proporcional a su concentración en el líquido, es decir:

$$P_i = k x_i \quad (49)$$

donde:

P_i = presión de vapor del componente i

k = constante de proporcionalidad.

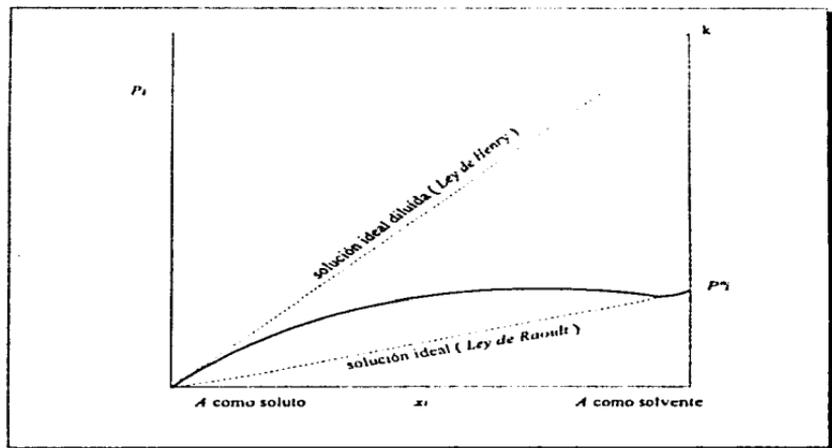
x_i = fracción mol de i en la fase líquida.

Comparando el intervalo de aplicación de ambas leyes, se puede decir que la Ley de Raoult es aplicable al disolvente y la Ley de Henry es aplicable al soluto. Lo anterior se puede observar más fácilmente en la figura 2.10.

2.3.7.1 DESVIACIONES POSITIVAS.

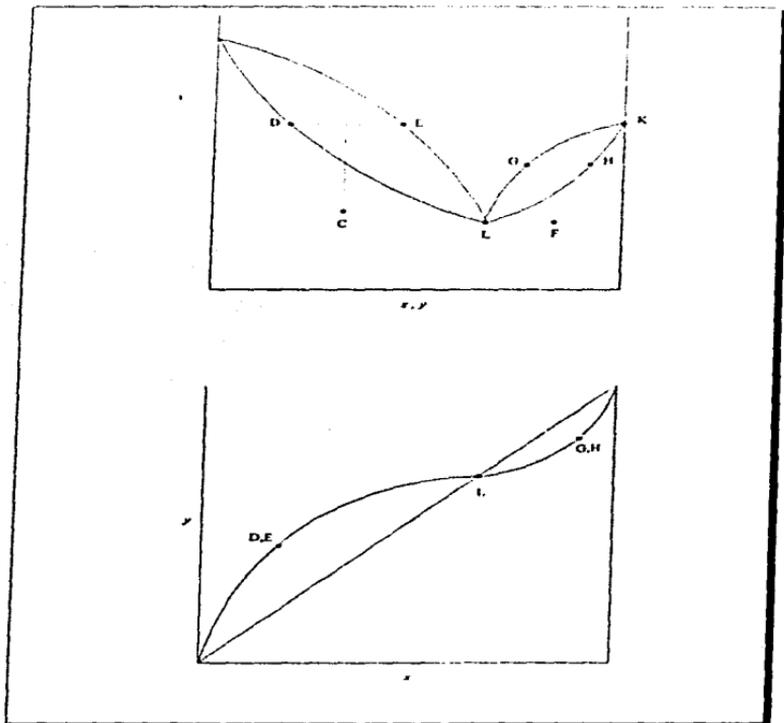
Como ya se mencionó anteriormente la mayoría de las mezclas presentan desviaciones positivas del comportamiento ideal y en estos casos las presiones parciales de cada componente son mayores a las previstas por la Ley de Raoult. Cuando las desviaciones son lo suficientemente grandes y las presiones de vapor de los componentes no están muy alejadas entre si se puede formar un *azeótropo*

FIG 2.10
INTERVALO DE APLICACIÓN DE LAS LEYES DE RAOULT Y HENRY ⁽²⁾



(del griego *hervir sin cambiar*). El comportamiento anterior puede observarse en los diagramas de equilibrio que se representan en la figura 2.11.

Como podrá observarse las curvas del líquido y del vapor son tangentes en el punto L, el cual representa el punto de azeotropismo y el punto de ebullición mínimo para este sistema. Para todas las mezclas de composición menor a L, como las de C, el vapor en el equilibrio, E, es más rico en el componente más volátil que el líquido D (comportamiento normal).

FIG. 2.11
DESVIACIONES POSITIVAS DEL COMPORTAMIENTO IDEAL. (45)

Sin embargo, para las mezclas de composición mayor a L_1 , tal como F_1 , el vapor en equilibrio, G_1 , es más pobre en el componente más volátil que el líquido H_1 . Una mezcla de composición L_1 da lugar a un vapor de composición idéntica a la del líquido y por consiguiente hierve a temperatura constante y sin cambio de composición. Este tipo de soluciones no pueden separarse por evaporación flash o por algún otro método de destilación, puesto que en el punto azeotrópico $x = y$, y además $\alpha = 1$.

La composición azeotrópica al igual que su punto de ebullición depende de la presión total del sistema, por esto en muchos casos es posible eliminar el azeótropo o al menos desplazarlo hacia el lugar que nos interesa mediante variaciones de presión.

2.3.7.2 DESVIACIONES NEGATIVAS.

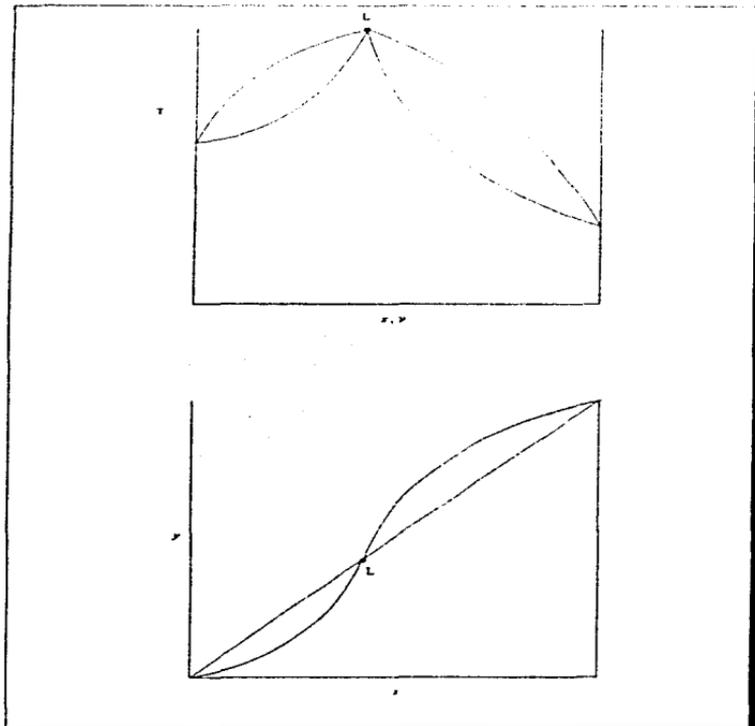
Cuando la presión total de un sistema es menor que la prevista por la Ley de Raoult, entonces se dice que éste presenta desviaciones negativas del comportamiento ideal. Este comportamiento se esquematiza en la figura 2.12.

Como podrá observarse en este caso el azeótropo se presenta en un punto de ebullición máximo para este sistema (L_1). Como ya se menciona los azeótropos de punto de ebullición máximo son menos comunes que los de punto de ebullición mínimo.

2.3.7.3 MEZCLA ETANOL-AGUA.

Como podrá recordarse, en un vino los dos componentes mayoritarios son el alcohol etílico o etanol y el agua.⁴ Debido a que los vinos son sistemas muy complejos en cuanto a su composición se

⁴ Ver 1.2.2 COMPOSICION

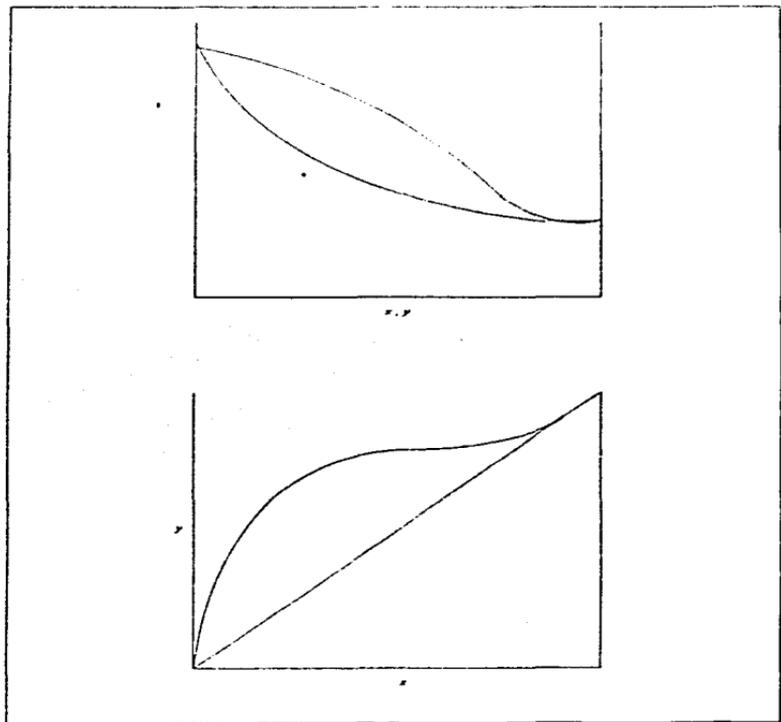
FIG. 2.12
DESVIACIONES NEGATIVAS DEL COMPORTAMIENTO IDEAL ⁽⁴⁵⁾

ha decidido, a fin de simplificar los cálculos, suponer que estos se comportan como una mezcla binaria de etanol y agua. El sistema etanol-agua presenta desviaciones positivas del comportamiento ideal. En el cuadro 2.1 se encuentran los datos de equilibrio para este sistema a presión total de 101.3 kPa (1 atm), donde x_1 y y_1 son las fracciones molares del etanol en el líquido y en el vapor respectivamente. De acuerdo a estos datos el azeotropo se encuentra a una temperatura de 78.15 °C. Sin embargo este desaparece a presiones menores de 70 mmHg⁽¹⁾. Los datos de equilibrio del cuadro 2.1 se representan en la figura 2.13.

CUADRO 2.1
DATOS DE EQUILIBRIO PARA EL SISTEMA ETANOL-AGUA ($P = 101.3 \text{ kPa}$)⁽¹⁾

T (°C)	x_1	y_1
95.50	0.0190	0.1700
89.00	0.0721	0.3891
86.70	0.0966	0.4375
85.30	0.1238	0.4704
84.10	0.1661	0.5089
82.70	0.2337	0.5445
82.30	0.2698	0.5580
81.50	0.3273	0.5826
80.70	0.3965	0.6122
79.80	0.5079	0.6564
79.70	0.5198	0.6599
79.30	0.5732	0.6841
78.74	0.6763	0.7385
78.41	0.7472	0.7815
78.15	0.8943	0.8943

FIG. 2.13
DIAGRAMA DE EQUILIBRIO PARA LA MEZCLA ETANOL-AGUA



2.3.8 TRATAMIENTO PARA LAS DESVIACIONES DE LA IDEALIDAD.

Las desviaciones del comportamiento ideal pueden tratarse introduciendo dos coeficientes de corrección en la ec (10), de tal forma que se obtiene la siguiente expresión:

$$y_i = \frac{\gamma_i x_i P_i^*}{\Phi_i P} \quad (50)$$

donde

y_i = fracción mol del componente i en la fase vapor.

x_i = fracción mol del componente i en la fase líquida.

P_i^* = presión de vapor del componente i puro.

P = presión total

γ_i = coeficiente de actividad

Φ_i = coeficiente de fugacidad.

El coeficiente de actividad γ_i es una propiedad de la fase líquida y depende de la concentración x_i . El coeficiente de fugacidad es una propiedad de la fase vapor y se calcula por la siguiente expresión:

$$\Phi_i = \frac{\phi_i}{\phi_i^*} \exp\left[-\frac{V_i(P - P_i^*)}{RT}\right] \quad (51)$$

en donde ϕ_i es la fugacidad del componente i , ϕ_i^* es la fugacidad del componente i en la saturación y el exponencial es conocido como *factor de Poynting*. Cuando se trabaja a bajas presiones (de 1 atm o menos), la fase vapor suele considerarse como un gas ideal, por lo cual $\phi_i = \phi_i^* = 1$ y el factor de Poynting difiere sólo unas cuantas milésimas de la unidad ⁽⁴⁴⁾

Así pues, suponer que $\Phi_i = 1$ introduce un error muy pequeño para estos casos. Por lo tanto la ec. (50) se puede expresar como:

$$y_i = \frac{\gamma_i x_i P_i^*}{P} \quad (52)$$

Para mezclas binarias se puede calcular el coeficiente de actividad, γ a partir de las ecuaciones de Van Larr, de Margules o bien por la ec. de Wilson. Se ha encontrado que la mayoría de los sistemas binarios concuerdan con la ec. de Van Larr, a excepción de los siguientes casos: cuando los datos abarcan un amplio intervalo de temperaturas y para mezclas de agua con solventes orgánicos, ya que para estos casos es más recomendable utilizar la ec. de Margules⁽⁵⁾. Por su parte la ec. de Wilson es especialmente útil cuando se tienen sistemas que no sufren separación de fases.

De acuerdo a lo anterior, para el cálculo de la actividad en el sistema etanol-agua se puede utilizar la ec. de Van Larr, la cual es:

$$\ln \gamma_1 = \frac{A_{12}}{\left(1 + \frac{A_{12} x_1}{A_{21} x_2}\right)^2} \quad (53)$$

$$\ln \gamma_2 = \frac{A_{21}}{\left(1 + \frac{A_{21} x_2}{A_{12} x_1}\right)^2} \quad (54)$$

en donde:

γ_1, γ_2 = coeficiente de actividad del componente más volátil y menos volátil respectivamente

x_1, x_2 = fracción mol de los componentes en la fase líquida.

A_{12} , A_{21} = parámetros de interacción binaria.

Una lista de parámetros de interacción binaria para diversos sistemas se encuentra en el *Manual del Ingeniero Químico*⁽¹¹⁾. De acuerdo a esta referencia, para la mezcla etanol-agua los parámetros de interacción binaria son: $A_{12} = 1.6798$ y $A_{21} = 0.9227$. Sustituyendo estos valores en las ec (53) y (54) se obtienen las siguientes expresiones para el cálculo de los coeficientes de actividad del etanol y del agua.

$$\ln \gamma_1 = \frac{1.6798}{\left(1 + \frac{1.6798x_1}{0.9227x_2}\right)^2} \quad (55)$$

$$\ln \gamma_2 = \frac{0.9227}{\left(1 + \frac{0.9227x_2}{1.6798x_1}\right)^2} \quad (56)$$

en donde:

γ_1 , γ_2 = coeficientes de actividad del etanol y del agua respectivamente.

x_1 , x_2 = fracción mol del etanol y del agua en la fase líquida resp.

2.3.9 CÁLCULO DE EVAPORACIÓN FLASH PARA MEZCLAS ETANOL-AGUA.

Para realizar el cálculo de evaporación flash para la mezcla etanol-agua se podría utilizar el método gráfico descrito en la sección 2.3.5, puesto que se trata obviamente de una mezcla binaria, siempre y cuando se tengan los valores de las composiciones en el equilibrio, o bien se disponga de los

diagramas termodinámicos, a la presión que se requiere, ya que se conocen los datos y los diagramas para este sistema pero a una presión total de 1 atm. Cuando se requiere trabajar a presiones distintas a 1 atm, es más conveniente utilizar el método analítico descrito en la sección 2.3.6 pero aplicado a dos componentes y con las correcciones necesarias por ser una mezcla no ideal.

Como podrá recordarse antes de iniciar el cálculo de evaporación flash es necesario constatar que la presión total del sistema se encuentre comprendida entre el punto de burbuja y el punto de rocío. Así pues es necesario primero calcular las presiones de burbuja y de rocío. Cabe señalar que en todas las ecuaciones que a continuación se presentan el subíndice 1 se utilizará para referirse al etanol, y el subíndice 2 para el agua. El cálculo de la presión de burbuja se puede realizar a partir de la ec. (52), de tal forma que:

$$y_1 = \frac{\gamma_1 x_1 P_1^*}{P} \quad (57)$$

$$y_2 = \frac{\gamma_2 x_2 P_2^*}{P} \quad (58)$$

Como $y_1 + y_2 = 1$, entonces la presión de burbuja se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$P_b = x_1 \gamma_1 P_1^* + x_2 \gamma_2 P_2^* \quad (59)$$

Se calcula la presión de burbuja con $z_i = x_i$. Los coeficientes de actividad se evalúan a partir de las ecuaciones (55) y (56).

El cálculo del punto de rocío se lleva a cabo nuevamente a partir de las ecuaciones (57) y (58), sólo que en este caso $x_1 + x_2 = 1$ y además considerando que $z_i = y_i$, obtenemos la siguiente expresión:

$$P_r = \frac{1}{\frac{y_1}{\gamma_1 P_1^*} + \frac{y_2}{\gamma_2 P_2^*}} \quad (60)$$

Como podrá observarse en el cálculo de la presión de rocío no es posible determinar directamente el valor de los coeficientes de actividad, ya que éstos dependen de la composición del líquido y ésta se desconoce en el punto de rocío, por lo cual es necesario llevar a cabo un proceso de iteración para poder determinar la presión de rocío. Para comenzar las iteraciones primero se supone un valor de $\gamma_1 = \gamma_2 = 1$, para calcular los valores de P y de x_1 y x_2 a través de las ecuaciones (60) y (52) respectivamente. Con estos valores de x se evalúa el valor de γ a partir de la ecuación de Van Larr, ec.(55) y (56). Con estos valores de γ se calcula un nuevo valor de P a partir de la ec.(60). Este valor de P se sustituye en la ec.(52) para calcular un nuevo valor de x . Debido a que la suma de estas x no está obligado a dar la unidad, cada valor se divide entre la $\Sigma x_1 + x_2$, es decir:

$$x_i = x_i / \Sigma x_i \quad (61)$$

Obteniéndose un conjunto de valores x_i normalizados cuya suma si es igual a la unidad. Con los valores normalizados de las x se calcula nuevamente el valor de γ para cada uno de los componentes y un nuevo valor de P hasta que los cambios ya no sean significativos.

Una vez que se ha comprobado que el sistema se encuentra entre los puntos de rocío y de burbuja, entonces se puede llevar a cabo el cálculo de evaporación flash. De la ec.(42) se obtiene la siguiente expresión:

$$F^* = \frac{z_1(K_1 - 1)}{1 + V'(K_1 - 1)} + \frac{z_2(K_2 - 1)}{1 + V'(K_2 - 1)} = 0 \quad (62)$$

y la derivada dF^*/dV' de la ec. (62) daría como resultado la siguiente ecuación:

$$\frac{dF^*}{dV'} = - \left(\frac{z_1(K_1 - 1)^2}{[1 + V'(K_1 - 1)]^2} + \frac{z_2(K_2 - 1)^2}{[1 + V'(K_2 - 1)]^2} \right) \quad (63)$$

De igual forma como se expuso anteriormente, es posible aplicar el método de Newton-Raphson para dar solución a la ec (62), para la cual se utiliza la ec (44).

Ahora bien, como los valores de K de la ec (62) no son constantes en este caso, ya que dependen no sólo de la temperatura y la presión, sino también de la composición de la fase líquida, x , ya que:

$$K_1 = \gamma_1 P_1^s / P \quad (64)$$

$$\text{y} \quad K_2 = \gamma_2 P_2^s / P \quad (65)$$

Debe ser evidente que el cálculo en este caso es más complicado que para una mezcla ideal y por lo tanto es conveniente realizar el proceso de iteración mediante el uso de una computadora

Para comenzar el proceso de iteración se puede utilizar los resultados de los cálculos de la presión de burbuja y de rocío previamente efectuados, ya que a través del cálculo del punto de rocío se obtienen los valores de presión de rocío y coeficiente de actividad en el punto de rocío. En tanto que por el punto de burbuja se obtienen los valores de presión de burbuja y coeficiente de actividad en el punto de burbuja. Así pues se puede llevar a cabo una interpolación entre los puntos de burbuja y de rocío para obtener valores iniciales del coeficiente de actividad y f' para comenzar el proceso de iteración.

De acuerdo a lo anterior la interpolación dará como resultado las siguientes expresiones:

$$\frac{\gamma_{1o} - \gamma_{1r}}{\gamma_{1b} - \gamma_{1r}} = \frac{P - P_r}{P_b - P_r} \quad (66)$$

o bien:

$$\gamma_{1o} = \left[\left(\frac{P - P_r}{P_b - P_r} \right) (\gamma_{1b} - \gamma_{1r}) \right] + \gamma_{1r} \quad (67)$$

y

$$\gamma_{2o} = \left[\left(\frac{P - P_r}{P_b - P_r} \right) (\gamma_{2b} - \gamma_{2r}) \right] + \gamma_{2r} \quad (68)$$

en donde

γ_{1b}, γ_{1r} = coef. de actividad del etanol en el punto de burbuja y rocío respectivamente

γ_{2b}, γ_{2r} = coef. de actividad del agua en el punto de burbuja y rocío resp.

Por otro lado, para la estimación inicial de V se tienen las siguientes ecuaciones como resultado de la interpolación

$$\frac{V_o - V_r}{V_b - V_r} = \frac{P - P_r}{P_b - P_r} \quad (69)$$

Ahora bien, como V en el punto de rocío es igual a 1 y en el punto de burbuja es igual a cero, la ec. (69) se puede expresar como

$$\frac{V_o - 1}{0 - 1} = \frac{P - P_r}{P_b - P_r} \quad (70)$$

o bien:

$$V_o = \frac{P_b - P}{P_b - P_r} \quad (71)$$

Así pues con los valores de V_o , γ_{1r} y γ_{2r} obtenidos a partir de la interpolación se lleva a cabo el proceso de iteración hasta que ya no haya un cambio significativo entre los resultados de una iteración con la siguiente, es decir que los valores no difieran entre sí con más de un diezmilésimo.

Una vez conocido el valor de V , es posible calcular el valor de L a partir del balance general, ec.(36), y los componentes de la fase líquida y vapor, ya que a través de las ec. (30) y (38) llegamos a las siguientes expresiones:

$$x_1 = \frac{z_1}{1 + V(K_1 - 1)} \quad (72)$$

$$x_2 = \frac{z_2}{1 + V'(K_2 - 1)} \quad (73)$$

$$y_1 = K_1 x_1 \quad (74)$$

$$y_2 = K_2 x_2 \quad (75)$$

Finalmente, el cálculo del balance de energía se puede realizar a través de las ec.(27), (28) y (29) descritas en la sección 2.3.5.

Como ya se ha dicho, la utilización de una computadora para resolver las ecuaciones que están involucradas dentro de los procesos de evaporación flash es, en gran medida, una herramienta muy útil, ya que la mayoría de las ecuaciones implican procesos de iteración que requieren de un tiempo excesivo para resolverlas. El uso de una computadora ayuda para que el ingeniero pueda aprovechar más su tiempo en el diseño o en la toma de decisiones sobre los procesos que en la resolución de ecuaciones. La importancia y la utilidad de las computadoras en la ingeniería será el tema que se abordará en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO III:

**IMPORTANCIA Y
UTILIZACIÓN DE LAS
COMPUTADORAS.**



3.1 DEFINICIÓN Y DESARROLLO DE LA COMPUTADORA.

Una computadora se puede definir como un dispositivo electrónico de uso general, el cual realiza operaciones aritmético-lógicas a gran velocidad, de acuerdo con instrucciones internas que se ejecutan sin intervención humana.⁽⁷⁾

La computadora almacena señales electrónicas que representan números, algunas de estas señales son instrucciones que le indican a la computadora lo que debe realizar con otros números.

La computadora lleva a cabo estas instrucciones con toda precisión a un promedio de miles de operaciones por segundo. El resultado final de este proceso no es otro más que números, los cuales se traducen a la información que se desea de tal forma que resulten comprensibles para el usuario, es decir, en forma de palabras, letras, números o gráficos.

El tipo de computadora más utilizado en la actualidad es la llamada *microcomputadora*⁸, puede decirse que una microcomputadora es aquella que puede utilizar una sola persona a la vez y que puede colocarse sobre un escritorio e inclusive sobre las piernas del usuario.

La aparición de la computadora a finales de la Segunda Guerra Mundial marcó el inicio de la Segunda Revolución Industrial, en la cual se puede decir que no solamente se automatizó la fuerza muscular del hombre, como sucedió en la Primera Revolución Industrial, sino también su capacidad intelectual.

⁷ De acuerdo a su tamaño las computadoras se pueden clasificar como microcomputadoras, minicomputadoras (prácticamente en vías de desaparición), mainframecomputadoras (conocidas comúnmente como *mainframes*) y supercomputadoras.

Es indudable que la invención de la computadora ha sido un acontecimiento tan importante para la historia de la humanidad como lo fue el descubrimiento del fuego, la invención de la rueda, de la imprenta o de la máquina de vapor.

Aunque a mediados de los años 70 las computadoras eran utilizadas por un número muy reducido de usuarios, la computadora ha tenido un impacto en nuestra sociedad mucho más grande que el de cualquier otro dispositivo inventado en la segunda mitad del siglo XX.

Sin la computadora la humanidad no habría podido iniciar muchas actividades de gran importancia como lo son la exploración del espacio o la exploración del microcosmos físico y biológico. Actualmente se puede afirmar que no hay área del conocimiento humano la cual no sea susceptible de verse favorecida con el empleo de las computadoras.⁽²⁸⁾ Sin embargo la aplicación de las computadoras es un tema que será tratado posteriormente.

Para el desarrollo de las computadoras que actualmente conocemos, han tenido que llevarse a cabo una gran cantidad de acontecimientos históricos y de descubrimientos los que nos hacen remontar en la historia hasta el año 1642 cuando Blaise Pascal inventó la primera calculadora mecánica del mundo., un resumen de los principales antecedentes históricos de las computadoras se presenta en el cuadro 3.1.

CUADRO 3.1
 PRINCIPALES ANTECEDENTES HISTORICOS DE LAS COMPUTADORAS (7)

1642	Blaise Pascal inventa la primera calculadora mecánica del mundo
1822	Charles Babbage presenta su primer modelo de una máquina diferencial que efectúa cálculos para elaborar tablas logarítmicas
1936	Alan Turing desarrolla el invento más secreto de la Segunda Guerra Mundial, el <i>colossus</i> , primera computadora electrónica del mundo
1944	Se presenta la computadora electrónica <i>Mark I</i> , la cual está basada en el trabajo desarrollado por Howard Aiken, de Harvard, en conjunto con IBM
1946	Alan Turing presenta el desarrollo de una nueva computadora llamada <i>ENIAC</i> , la cual es terminada en ese mismo año por J. Presper Eckert Jr. y John Mauchly
1947	Los laboratorios Bell desarrollan el transistor
1951	En los Estados Unidos, la computadora <i>CUNYAC I</i> tabula el censo de 1950
1953	La empresa IBM da a conocer la computadora 650
1959	La primera computadora comercial, totalmente ajena al gobierno de los Estados Unidos, es entregada en la planta de General Electric, en Lowville, Kentucky
1960	Los transistores reemplazan a los tubos electrónicos al vacío. La primera minicomputadora, la <i>DEC PDP-1</i> se da a conocer
1964	IBM introduce la computadora 360
1965	Los circuitos integrados se aplican en la tecnología de las computadoras
1971	La supercomputadora <i>Cray-1</i> se da a conocer. Se presenta el primer microprocesador comercialmente disponible

CUADRO 3.1 (continuación)
PRINCIPALES ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS COMPUTADORAS

1975	Se pone al mercado la primera microcomputadora producida comercialmente la <i>Altair</i> , de MIT
1977	Se presenta la computadora <i>Apple II</i>
1981	Se presenta la computadora <i>IBM PC</i> Comienza en Japón el desarrollo de computadoras con inteligencia artificial
1984	Aparece la <i>Apple Macintosh</i>

De acuerdo al desarrollo tecnológico de las computadoras electrónicas, es común que éstas se clasifiquen en cinco generaciones. Las principales características de cada una de las generaciones se puede observar en el cuadro 3.2

Cabe señalar que actualmente el desarrollo tecnológico de las computadoras ha alcanzado niveles verdaderamente impresionantes, a tal grado que en la actualidad es común hablar de muchos adelantos que quizá en décadas pasadas hubieran sido inimaginables, como el desarrollo de sistemas expertos, la realidad virtual o las redes internacionales de información.

CUADRO 3.2
LAS CINCO GENERACIONES DE COMPUTADORAS^(1,2)

Primera Generación (1950-1960)	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizan bulbos para procesar informacion -Se introducen los datos a traves de tarjetas perforadas -Utilizan lenguaje <i>de maquina</i> , ensambladores primitivos -Capacidad de memoria de 1000 a 8000 palabras -Consumen grandes cantidades de electricidad, generan una gran cantidad de calor y son sumamente voluminosas
Segunda Generación (1960-1965)	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizan transistores, con tecnologia S S I (Short of Scale Integration) -Emplean impresoras y cintas magneticas -Utilizan lenguajes como el FORTRAN Aparecen los Sistemas Operativos -Son computadoras mas rapidas, pequeñas y con menos necesidades de ventilacion
Tercera Generación (1965-1975)	<ul style="list-style-type: none"> -Emplean circuitos integrados con tecnologia L S I (Large Scale Integration) los cuales contienen de 10,000 a 100,000 componentes (chips de silicio) en una superficie de 25 mm² -Utilizan cintas y discos magneticos, terminales de video y teletipos -Utilizan lenguajes de alto nivel como COBOL y BASIC asi como bases de datos La tecnica de los circuitos integrados provocó la expansion de la Industria del <i>Sofware</i> -Computadoras mas pequeñas, más rapidas y que desprenden menos cantidad de calor
Cuarta Generación (1975-1981)	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizan tecnologia V L S I (Very Large Scale Integration), de hasta 800 000 chips en 25 mm² -Aparece el microprocesador, en el cual se integran la unidad aritmetica y logica, la unidad de control y de registros -Se desarrollan las microcomputadoras, la inteligencia artificial y las bases de datos
Quinta Generación (1981- ?)	<ul style="list-style-type: none"> -Emplean tecnologia U L S I (Ultra Large Scale Integration), utilizan enjambres, procesadores microscopicos operando simultaneamente para recibir y clasificar informacion -Desarrollo de computadoras inteligentes <i>AIIT</i> -Desarrollo y utilizacion de redes

3.2 APLICACIÓN DE LAS COMPUTADORAS.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, las características de las computadoras (su capacidad de realizar cálculos y procesar cualquier clase de información a grandes velocidades) han hecho de ésta una herramienta muy útil, y quizá indispensable en la actualidad para la solución de muchos problemas de cualquier rama del conocimiento humano, como lo es la Ingeniería, Administración, Economía, Medicina, Física, Química, Biología, Astronomía, Meteorología y en casi cualquier actividad intelectual, incluyendo las artes como la Arquitectura, Pintura, Música y Poesía.⁽¹⁾

Así pues, las aplicaciones de las computadoras en base a sus objetivos podrían ser clasificadas en dos grandes grupos, que son administrativos y científico-tecnológicos, aunque siempre habrá una interacción mutua entre ambas. Cabe señalar que como cualquier otra herramienta, la utilidad y la correcta aplicación de la computadora siempre será función directa del ingenio y habilidad del usuario que la utiliza.

3.2.1 APLICACIÓN CON FINES ADMINISTRATIVOS.

Debe ser evidente que el uso de las computadoras no se restringe al área tecnológica y científica; de hecho, la mayoría de las computadoras se producen para utilizarlas en el terreno administrativo. La principal diferencia en el uso de las computadoras en administración y en trabajos científico-tecnológicos, radica en la relación de operaciones ejecutadas al total de datos procesados; mientras que

la computadora en el area administrativa realiza solo unos cuantos calculos para una gran cantidad de datos, en los problemas cientificos y tecnologicos generalmente se utilizan pocos datos pero para cada dato se requiere de una gran cantidad de operaciones

La amplia aceptacion de las computadoras en el area administrativa se debe al tipo de trabajo repetitivo o rutinario que se debe de llevar a cabo normalmente en esta área, ademas de que las computadoras aportan mayor exactitud y rapidez de proceso a bajos costos de operación

Algunos ejemplos de la aplicación de las computadoras en el área administrativa son los siguientes: elaboración y control de presupuestos, nóminas, inventarios, campañas de publicidad y contabilidad en general, desarrollo de manuales, estructura y organización de archivos, control de personal, fuentes de información, etc

3.2.2 APLICACIÓN CON FINES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICOS.

Como ya se ha mencionado la computadora ha sido de gran utilidad para el desarrollo científico en diversas áreas como lo son la física, la química o la biología

Por su parte la ingeniería utiliza las matemáticas como lenguaje para expresar leyes físicas o químicas en términos exactos. Así pues, la computadora es una herramienta valiosa para estudiar las consecuencias de dichas leyes.

Una vez que se ha desarrollado un procedimiento para la resolución de algún problema, el tiempo requerido para ejecutar los cálculos necesarios manualmente lo pueden hacer prohibitivo y también en ocasiones, es necesario resolver el mismo problema varias veces utilizando diferentes series de parámetros. La computadora no sólo es capaz de evaluar expresiones matemáticas a altas velocidades,

sino tambien puede efectuar calculos tantas veces como se desee utilizando diferentes series de valores numericos, de comparar resultados obtenidos y hasta de encontrar los valores optimos que se utilizaron

Para resolver muchas de las expresiones matematicas que representan a diversas leyes de la fisica o de la quimica utilizando calculadoras operadas manualmente, el ingeniero requiere de varios minutos; sin embargo, una computadora podria ejecutar cientos de estas operaciones en cuestion de segundos

Algunos ejemplos de las aplicaciones de la computadora para resolver problemas cientifico-tecnologicos son los siguientes: evaluacion, calculo y resolucion de problemas matematicos, estadisticos, balisticos y de Ingenieria en general, diagnostico, regulacion y monitoreo de pacientes en medicina, analisis del sistema solar y prediccion del estado del tiempo, simulacion y control de sistemas y procesos

Dentro del area de la Ingenieria en Alimentos la computadora se utiliza para diversas aplicaciones. Como puede ser la automatizacion de equipos y procesos, programas para el calculo de propiedades termofisicas y de transporte en diversos alimentos, simulacion de sistemas de extraccion, concentracion y deshidratacion, programas de simulacion del crecimiento microbiano en alimentos refrigerados; modelizacion de equipos (secadores, evaporadores, etc.) y en el analisis de operacion de diversos equipos y sistemas.¹⁰

Finalmente, cabe senalar que en Mexico la aplicacion de las computadoras abarca practicamente todos los niveles de importancia dentro de la estructura economica y social de nuestro pais; asi pues se puede mencionar su utilizacion en bancos, aseguradoras, laboratorios, periodicos, bibliotecas, universidades, fabricas, aeropuertos, empresas de cualquier tipo y secretarias de Estado; solo por mencionar algunas.

¹⁰ **IV TALLER DE HERRAMIENTAS DE CALCULO EN INGENIERIA DE ALIMENTOS** CYTED-IPN, Septiembre de 1996

3.3 LA SIMULACIÓN DE PROCESOS EN INGENIERÍA.

Prácticamente cualquier proceso se puede simular programando una computadora de tal forma que contenga un modelo matemático del proceso y del sistema de control. Este modelo matemático debe responder a las perturbaciones y los ajustes o modificaciones, en la misma medida en que sucedería dentro de un proceso real. No obstante, las respuestas se obtienen como variables de proceso automáticamente graficadas o impresas en lugar de obtenerse en una planta.

La modelización de procesos y la simulación por computadora han sido herramientas extremadamente útiles para la ingeniería en el diseño y la optimización de procesos físicos, químicos y biológicos. Además de reducir, en gran medida, gastos en experimentación que anteriormente debían de ser invertidos.

El empleo de la simulación por computadora se ha expandido rápidamente durante las últimas décadas debido al desarrollo tecnológico que éstas han alcanzado. El incremento en el uso de la computadora en las técnicas de simulación ha traído como consecuencia una perspectiva más amplia para el aprovechamiento científico dentro de la ingeniería ⁽¹⁰⁾.

Dentro de la industria de procesos químicos se ha logrado resolver muchos problemas gracias a la simulación por computadora. Existen en México diversos programas de simulación de procesos termodinámicos, de entre los cuales destacan los siguientes: *HYSIM* (configurado en lenguaje C, el cual es utilizado principalmente en petroquímica y en procesos de refinación del petróleo), *ASPEN PLUS* (configurado en FORTRAN, el cual realiza cálculos de optimización y de costos), *SIMPPROC* (simulador desarrollado por el Instituto Mexicano del Petróleo) y *PRO II* (configurado en lenguaje FORTRAN).

Para que el ingeniero pueda crear programas de simulación de procesos es necesario que desarrolle algunas habilidades indispensables, como lo son

- *Una completa comprensión de los fundamentos en ingeniería* El ingeniero debe estar perfectamente familiarizado con los sistemas físicos, químicos o biológicos y los mecanismos que los integran, para que tenga la capacidad de simular un proceso real y que pueda llevar a cabo una evaluación de dicha simulación el proceso nunca debe ser visto como una caja negra
- *Destreza para realizar modelos* Debe poseer la capacidad de desarrollar relaciones matemáticas, las cuales describan adecuadamente el comportamiento del proceso que se quiere simular.
- *Habilidad computacional* Es indispensable que se tenga la capacidad de programar y de utilizar correctamente la computadora, para que de esta forma se puedan obtener soluciones rápidas y económicas a los problemas de simulación

Además de las habilidades anteriormente mencionadas, es necesario conocer los alcances y los límites del programa desarrollado. La simulación debe ser considerada solo como un modelo del proceso real que representa, con limitaciones determinadas por diversos factores como lo son las suposiciones previstas para simplificar el modelo matemático, el detalle con que se ha descrito el proceso, el cúmulo de conocimientos que se tienen sobre él, la experiencia del programador y la capacidad de la computadora.¹³²

Cabe señalar que el programa que se ha desarrollado en este proyecto de tesis no puede ser considerado como un programa de simulación, ya que éste es demasiado sencillo para ser considerado como tal.

Sin embargo se considera que es un programa muy útil para establecer las bases que permitan desarrollar programas mucho más completos, los cuales puedan involucrar todos los aspectos que se requieren en un proceso de simulación.

3.4 EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.

Para realizar un programa en una computadora, es necesario elegir un lenguaje de programación adecuado para poder llevar a cabo esta tarea. El lenguaje de programación es un enlace directo entre la computadora, que sólo trabaja con números binarios y los usuarios, que prefieren utilizar palabras y otros sistemas de numeración.

El lenguaje de programación permite a los programadores escribir instrucciones, la mayoría de estas con base en el idioma inglés junto con números y símbolos matemáticos, que las computadoras pueden convertir a código binario mediante programas denominados *procesadores de lenguaje*.

Actualmente existen cientos de lenguajes, los cuales indiscutiblemente poseen características similares, sin embargo no se puede afirmar que todos tengan el mismo objetivo específico, ya que estos difieren en su concepción, su gramática y su sintaxis, así como en la forma particular de expresar las ideas.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, dependiendo de la tarea a realizar o del problema a resolver, la labor de escribir un programa se facilita enormemente seleccionando un determinado lenguaje en vez de otro.

El desarrollo de los principales lenguajes de programación, se resume en el cuadro 3.3

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CUADRO 3.3
DESARROLLO DE LENGUAJES DE PROGRAMACION¹¹

1954	IBM desarrolla el lenguaje de programación FORTRAN (FORmula TRANslator)
1959	CODASYL, el Comité para Lenguajes de Sistemas de Datos, crea COBOL (COmmon Business Oriented Language)
1965	John Kemeny y Thomas Kurtz desarrollan el BASIC (Beginner's All-purpose Instruction Code) en Dartmouth College
1971	Niklaus Wirth desarrolla el Pascal para enseñar técnicas de programación estructurada
1972	Los laboratorios Bell dan a conocer el lenguaje de programación C

Algunos autores consideran que un buen lenguaje de programación debe cumplir con ciertos *factores de calidad*.^{18, 19, 20} De entre éstos podemos mencionar: *la claridad de sintaxis del programa*, *secuencialidad*, es decir que las instrucciones se ejecuten siguiendo una secuencia en el tiempo, *legibilidad*, la cual se refiere a la longitud de las palabras clave. La legibilidad es un factor importante en la elección de un lenguaje, ya que normalmente los programas se leen muchas veces más de las que se escriben, por tal motivo es importante evitar una notación excesivamente cryptica, *separación de abstracción* el cual permite que las estructuras de datos, tipos de datos y operaciones se definan y mantengan como abstracciones contenidas por sí mismas para que el programador pueda emplearlas en otras partes del programa conociendo solo sus propiedades de abstracción sin importar los detalles de su implementación; *generalidad* esta característica se refiere a la capacidad de generalizar operaciones para todo tipo de datos y viceversa evitando repetir código para situaciones muy similares;

estandarización, ya que uno de los más graves problemas de la informática es la falta de estandarización con respecto a los lenguajes de programación puesto que existen varias versiones de éstos, además de que cualquier intento de estandarización por parte de un comité ANSI (the American National Standards Institute) es posterior a la implantación del lenguaje, por lo que no es efectiva. Sin estandarización no hay portabilidad, *costo de uso*, el cual se refiere al costo ocasionado durante el tiempo de ejecución, prueba, uso y mantenimiento del programa, y finalmente *la estructuración* que se basa en dividir los programas en operaciones pequeñas que se dividen a su vez en suboperaciones más pequeñas todavía. Dentro del concepto de estructuración se incluye también la ordenación en funciones y procedimientos, la definición de variables, tipos de datos y operadores. Es importante señalar que en muchos casos puede resultar inflexible y tediosa, por lo que se prefiere a lo que se conoce como *estructuración libre*, o aun más, actualmente se tiende hacia lo que se conoce como *Programación Orientada a Objetos*¹¹

3.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

No es fácil clasificar los lenguajes de programación, ya que un lenguaje determinado puede pertenecer a una o a varias categorías.

Una forma de clasificarlos es en *lenguajes imperativos* y en *lenguajes declarativos*,^{11b} dependiendo de la forma en que actúan sobre las variables.¹²

¹¹ El concepto de Programación Orientada a Objetos se analizará posteriormente. Ver 3.4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL LENGUAJE.

¹² En informática se utiliza la palabra *variable* para hacer referencia a una localización de memoria a la que se le ha asignado un nombre. El contenido de la localización de memoria es el valor de la variable.

Lenguajes imperativos Estos ofrecen un conjunto específico de operaciones ejecutables y de sentencias, entre las que destaca la de *asignación*, que permite modificar los valores de las variables. Mediante una adecuada organización de dichas sentencias se obtiene el programa que resuelve un problema determinado.

Al analizar las instrucciones de los lenguajes imperativos (instrucciones de asignación, de toma de decisión, de control de iteraciones o de ciclos y de almacenamiento de datos) desde el punto de vista estructural se encuentra que tienen las mismas características fundamentales y que las variaciones son de forma y de flexibilidad¹⁴³.

La mayoría de los lenguajes de programación que se utilizan con más frecuencia se pueden ubicar dentro de esta categoría. Algunos ejemplos de lenguajes imperativos son: BASIC, FORTRAN, COBOL, Pascal y C.

Lenguajes declarativos ó de tipo simbólico Estos lenguajes tienen la propiedad conocida como *transferencia referencial*, es decir, prohíben asignar valores diferentes a una variable durante la ejecución del programa. Por tanto, las variables son tales que de una ejecución a otra pueden cambiar de valor, pero una vez comenzada la ejecución son variables estables.

Cuando se utilizan lenguajes imperativos se especifica el procedimiento para resolver cada problema, mientras que con los lenguajes declarativos se especifica que tipo de solución se busca. Este tipo de lenguajes se utilizan cuando se requiere que un grupo de elementos puedan relacionarse entre sí libre y simultáneamente; es decir en problemas relacionados con Inteligencia Artificial, Sistemas Expertos, manipulación algebraica, análisis lingüístico y cálculo numérico.

Como ejemplos de este tipo de lenguajes se puede mencionar al LISP (LISP Processing) y PROLOG (PROgraming in LOGic)

Otra forma de clasificar a los lenguajes de programación es de acuerdo a su legibilidad y al nivel de interacción con la computadora. De tal forma se suele hablar de 3 grupos: lenguajes de alto, medio y bajo nivel. En el cuadro 3.4 se observa la clasificación de algunos lenguajes con base en su nivel.

CUADRO 3.4
CLASIFICACIÓN DE LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN (40)

ALTO NIVEL	Ada Modula 2 Pascal COBOL FORTRAN BASIC
MEDIO NIVEL	C Fortn
BAJO NIVEL	Macro-assembler Assembler

Los lenguajes de bajo nivel permiten la manipulación de los elementos básicos con que trabaja una computadora, es decir permite la manipulación de bits, bytes y direcciones. Sin embargo dependen de la computadora en particular con que se trabaje, además de que son lenguajes sumamente difíciles de entender y que requieren que las instrucciones se codifiquen con gran detalle. 71

Los lenguajes de alto nivel son los que se utilizan con más frecuencia, ya que son más fáciles de entender puesto que utilizan instrucciones en inglés a través de las cuales se realizan una serie de operaciones. Por su parte los lenguajes de nivel medio combinan elementos de los lenguajes de alto nivel con elementos de los de bajo nivel.

Como ya se ha mencionado con anterioridad el *procesador de lenguaje* se encarga de traducir las instrucciones de un lenguaje de programación a código binario o *código máquina*. Al conjunto de instrucciones escritas por el usuario en un lenguaje de programación se le conoce como *código fuente*.

El conjunto de instrucciones binarias ya traducidas que la computadora puede ejecutar es el *código objeto* ⁴².

Los procesadores de lenguaje pueden ser de dos tipos: compilador e intérprete. Un compilador traduce completamente el código fuente de un programa a código objeto mientras revisa buscando errores que se pudiesen haber cometido. El programa objeto, que es el que realiza todo el procedimiento real, entra en operación si el código fuente no tiene errores.

Por su parte, un intérprete toma el código fuente y lo traduce línea por línea.

Debido a que los compiladores solo traducen el programa una sola vez, los programas así realizados generalmente son de 3 a 5 veces más rápidos que los programas hechos con un intérprete. Así pues, los lenguajes de programación que utilizan compiladores como el Pascal y el C, son más rápidos que el BASIC que utiliza un intérprete.

Los lenguajes de programación más utilizados han sido el FORTRAN, BASIC, Pascal y actualmente el lenguaje C.

El lenguaje FORTRAN fue el primer compilador que se hizo realmente popular y en aplicaciones técnicas sigue siendo utilizado debido a su diseño especialmente orientado a cálculos matemáticos, es un lenguaje muy disponible si está estandarizado. Sin embargo las reglas del lenguaje se deben seguir estrictamente para evitar errores. La debilidad más grande de FORTRAN estriba en sus limitadas facilidades para la estructuración de datos que están restringidas a arreglos y cadenas de caracteres de longitud fija, además de que no proporciona facilidades para la definición de datos.¹²

El BASIC es un lenguaje que se caracteriza por su fácil aprendizaje, manejo y disponibilidad, sin embargo tiene la desventaja de ser poco flexible, además de que no está totalmente estandarizado y los programas escritos para un sistema de cómputo normalmente tienen que modificarse para que funcionen en un sistema distinto.

Por su parte, el Pascal es un lenguaje de fácil aprendizaje y altamente estructurado, ya que fue diseñado para enseñar técnicas de *programación estructurada*. El objetivo fundamental de la programación estructurada es lograr optimizar la relación existente entre tiempo y espacio. Así, por ejemplo la sentencia *goto* es una instrucción que normalmente no se emplea en un programa estructurado ya que ocupa memoria y pierde tiempo. Los lenguajes estructurados (como el Pascal y C) tienden a ser más modernos, mientras que los no estructurados son más viejos (como el FORTRAN y el BASIC).¹³

El lenguaje C se ha convertido en la actualidad en el lenguaje de programación más popular e importante del mundo. Para poder entender el porqué de esto, es necesario analizar algunas características importantes de este lenguaje de programación.

¹³ Algunos lenguajes de programación tienen varias versiones. Así, por ejemplo existen FORTRAN IV, GW BASIC, Q BASIC, Visual BASIC, Turbo Pascal, Turbo C, Turbo C++, Quick C, Visual C, etc

3.4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL LENGUAJE C.

El lenguaje C fue desarrollado por Dennis Ritchie en 1972 en una computadora *DEC PDP-11* que utilizaba el sistema operativo UNIX. En un principio este lenguaje se utilizó como un sustituto del lenguaje *ensamblador*, sin embargo su uso se ha extendido rápidamente a otras áreas convirtiéndose en un lenguaje de propósito general.⁽¹⁰⁾

Las características que han hecho del lenguaje C el lenguaje de programación preferido sobre los otros lenguajes se pueden resumir en tres palabras: *velocidad, transportabilidad y funcionalidad*.

- **Velocidad.** Debido a que algunos de sus comandos direccionan de manera directa el equipo físico de la computadora o *Hardware* al igual que lo hacen los lenguajes de bajo nivel, los programas compilados se ejecutan muy rápidamente. De hecho, su ejecución es tan rápida que se puede utilizar este lenguaje para escribir sistemas operativos, aplicaciones relacionadas con telecomunicaciones e incluso crear nuevos lenguajes.
- **Transportabilidad.** Los programas escritos en lenguaje C pueden correr prácticamente en cualquier computadora ya que es un lenguaje altamente estandarizado. Así, por ejemplo, si se escribió un programa en una computadora IBM-PC o compatible, éste podrá funcionar sin ningún problema en otro tipo de computadora como lo es la Apple Macintosh. Esto no ocurre con otros lenguajes, como el ensamblador, en donde se tendría que escribir nuevamente todo el programa.

- **Funcionalidad** El lenguaje C ofrece un gran número de operadores y de tipos de datos, así como sentencias de control, arreglos y punteros. La potencia de este lenguaje está dada, principalmente, por las bibliotecas de funciones proporcionadas por el compilador. Además cuenta con pocas palabras clave, tan solo 43 (en contraste con el BASIC que emplea más de 150) lo que facilita el aprendizaje además de favorecer el manejo sencillo y rápido de los programas.⁽²⁷⁾

El lenguaje C y Pascal tienen muchas similitudes, especialmente en sus estructuras de control y en el uso de subrutinas independientes con variables locales.⁽²⁸⁾ Aunque Pascal y C son muy similares existen algunas diferencias muy importantes entre ellos. La primera es que el Pascal es más restrictivo y en cierto sentido más limitado que el C. Otra diferencia es que el Pascal está formalmente estructurado en bloques, mientras que el C no, ya que no permite definir funciones dentro de otras. En Pascal todas las variables, funciones y procedimientos se declaran antes de ser utilizados. Por su parte, en C todas las variables se declaran antes de utilizarse, pero no hay restricciones en lo referente a las funciones.

El Pascal estándar no soporta la compilación separada, mientras que en C sí se puede llevar a cabo. Pascal requiere de más palabras para escribir un programa, además sus bucles de control son más limitados que los de C.

Por otro lado, el lenguaje C tiene pocas similitudes con el BASIC ya que éste no es un lenguaje estructurado, lo que significa que no tiene un conjunto completo de estructuras de control, aún más, no tiene subrutinas independientes con variables locales. En BASIC todas las variables son globales, esto significa que son conocidas en todo el programa y pueden ser modificadas en cualquier parte del

mismo. En la mayoría de las versiones del BASIC el bucle For/Next es el único bucle de control, por su parte el bucle for de C es mucho más sofisticado y flexible. Además los programas realizados en BASIC son sumamente difíciles de mantener o de mejorar.⁽⁴¹⁾

En la década de los 90 se ha dado a conocer un lenguaje de programación conocido como C++, el cual es un *superconjunto* del C. En realidad no se trata de un lenguaje diferente porque incluye todas las características y comandos propios del C y algunos adicionales. Las extensiones propias del C++ hacen más fácil la tarea de desarrollar programas grandes y complejos al contar con un acceso más *modular* y con otras mejoras adicionales.

Además, el C++ centra su atención en la *Programación Orientada a Objetos*.⁽⁴²⁾

La Programación Orientada a Objetos ha tomado las mejores ideas de la programación estructurada y las ha combinado con varios conceptos nuevos y poderosos, que estimulan a concebir la programación bajo un nuevo prisma, ya que permite que un problema se pueda descomponer más fácilmente en subgrupos de partes relacionadas del mismo problema, de tal forma que a través del lenguaje se pueden traducir estos subgrupos en unidades autocontenidas denominadas *objetos*.

Debido a las características del lenguaje C, es por lo que se tomó la decisión de escribir el programa en este lenguaje. La versión que se empleó para este propósito fue la de Turbo C++ V.1, utilizando una computadora Acer 486.

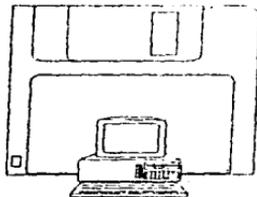
3.5. ALCANCES DEL PROGRAMA.

El programa desarrollado en este proyecto de tesis tiene como finalidad principal el de realizar cálculos de evaporación flash, así como el balance de energía, para mezclas de etanol y agua suponiendo que estos pueden ser de utilidad como modelo para la desalcoholización de vinos. Sin embargo, con el afán de presentar un programa más versátil se ha incluido la opción para realizar cálculos de evaporación flash para mezclas multicomponente ideales (hasta cinco componentes), así como su balance de energía.

Cabe señalar que el funcionamiento del programa no ha sido contrastado con datos experimentales (que es lo más recomendable), pero los resultados del mismo se confrontaron con los de diversos problemas prácticos y con ejemplos reportados por la bibliografía (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100).

Finalmente, en el último capítulo de esta tesis se muestran los diagramas de flujo para cada una de las rutinas de cálculo así como el manejo y la utilización del programa desarrollado.

**CAPÍTULO IV:
MANEJO DEL
PROGRAMA.**



4.1 DIAGRAMAS DE FLUJO.

Para realizar un programa de cómputo en cualquier lenguaje de programación es muy recomendable elaborar previamente uno o varios diagramas de flujo con la secuencia exacta del cálculo que se desea llevar a cabo. Estos diagramas describen y analizan el movimiento de los datos a través del sistema desde un origen hasta un destino, proporcionando un panorama de la descripción lógica del flujo de los datos, así como su transformación mediante los procesos señalados.

En el programa que se ha desarrollado se llevan a cabo cuatro rutinas que corresponden al cálculo de evaporación flash para mezcla etanol-agua, balance de energía para mezcla etanol-agua, cálculo de evaporación flash para mezcla multicomponente y balance de energía para este tipo de mezcla.

Las ecuaciones necesarias para realizar cada uno de estos cálculos se describieron con anterioridad en esta tesis, concretamente en el capítulo que corresponde a la termodinámica del proceso de evaporación flash¹⁴.

Los diagramas de flujo correspondientes para las rutinas de cálculo anteriormente mencionadas se esquematizan en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3.

¹⁴ Ver. CAPÍTULO II. EL PROCESO DE EVAPORACIÓN FLASH.

FIG. 4.1
CÁLCULO DE EVAPORACIÓN FLASH PARA MEZCLA ETANOL-AGUA

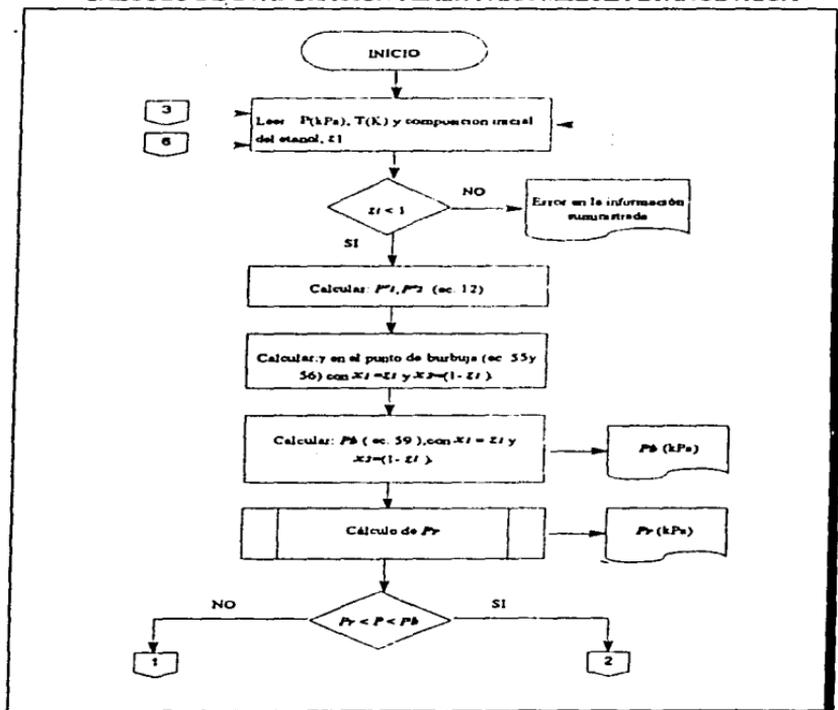


FIG. 4.1 (continuación)
CÁLCULO DE EVAPORACIÓN FLASH PARA MEZCLA ETANOL-AGUA

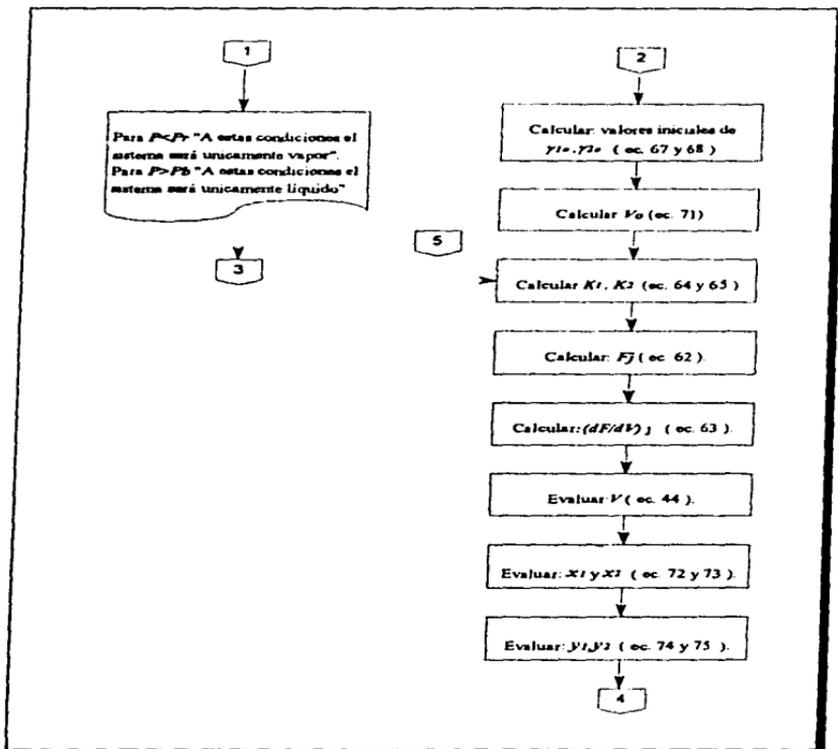


FIG 4.1(continuación)
CÁLCULO DE EVAPORACIÓN FLASH PARA MEZCLA ETANOL-AGUA

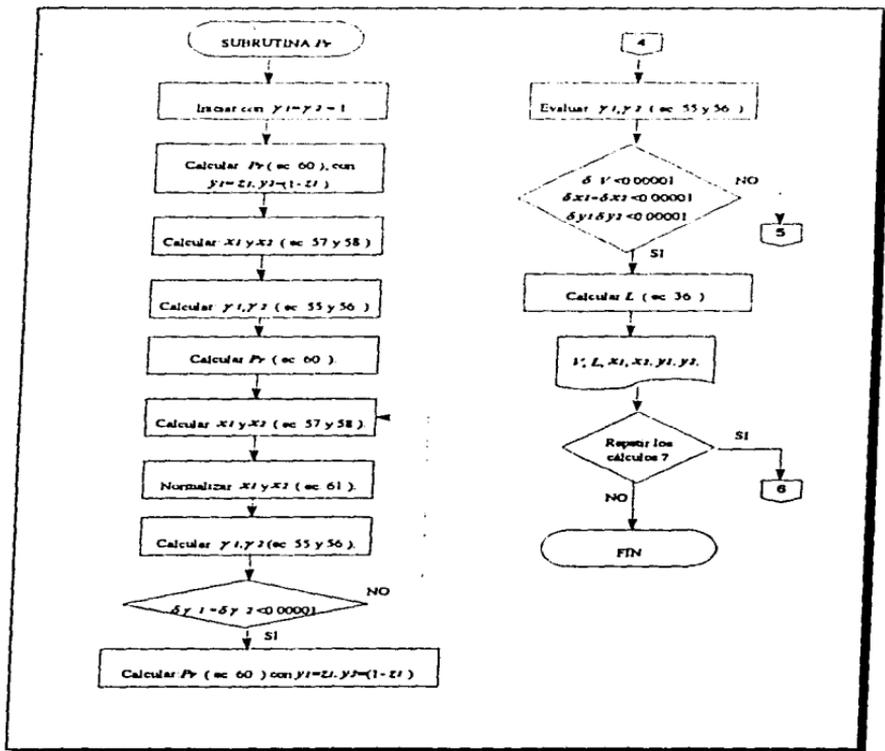


FIG. 4.2
CÁLCULO DE EVAPORACIÓN FLASH PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE

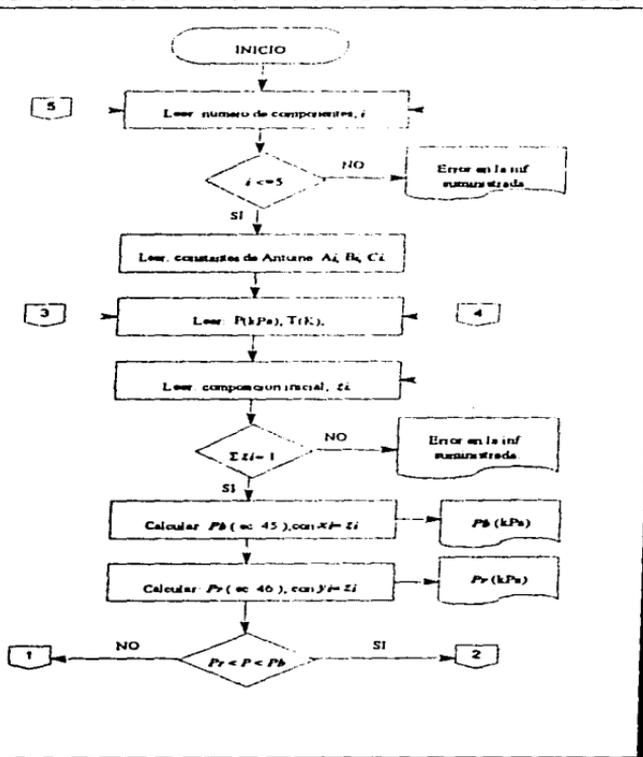


FIG. 4.2 (continuación)
CÁLCULO DE EVAPORACIÓN FLASH PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE

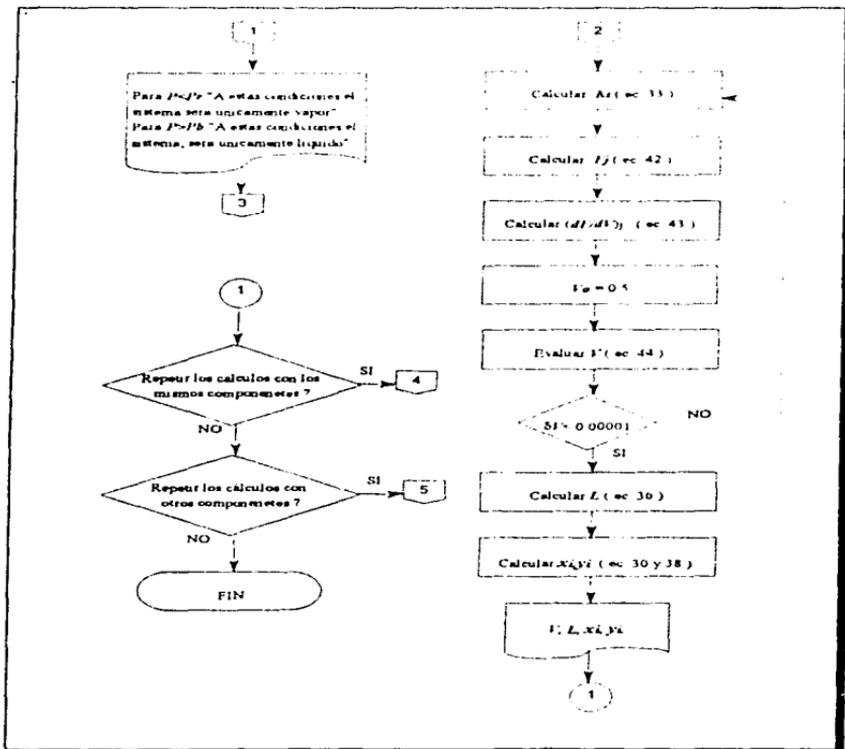
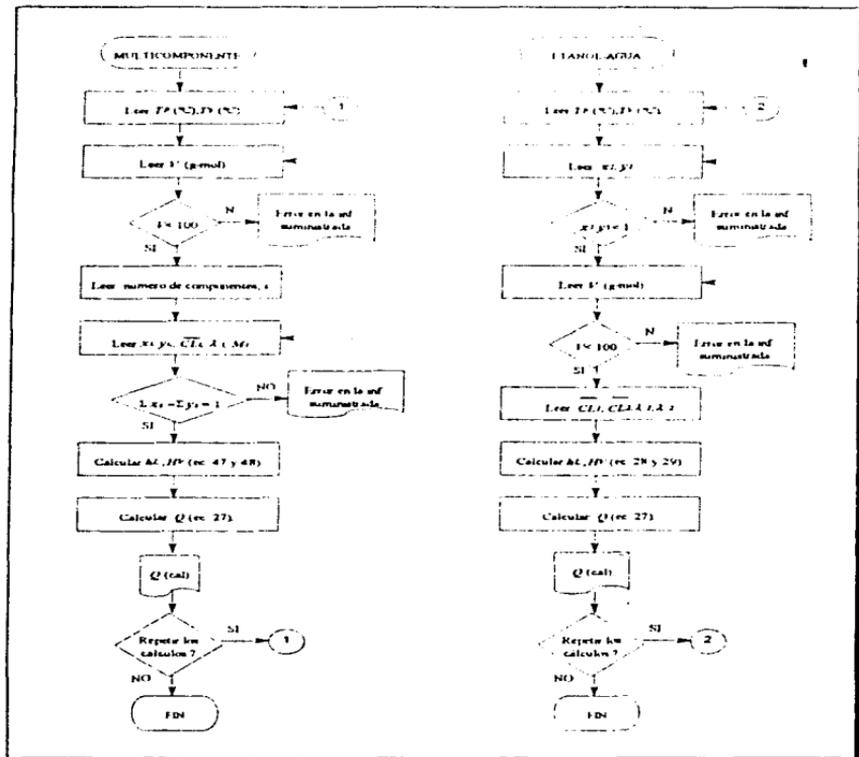


FIG. 4-3
CÁLCULOS PARA EL BALANCE DE ENERGÍA



4.3 MENÚ PRINCIPAL

Después de la presentación del programa aparecerá en su monitor el menú principal, el cual se ilustra en la figura 4.5 y que contiene las siguientes opciones:

- 1. Mezcla etanol-agua
- 2. B. energía etanol-agua
- 3. Mezcla multicomponente
- 4. B. energía multicomponente
- 5. Salir

FIG. 4.5
MENÚ PRINCIPAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILAN				
PROGRAMA DE CALCULO DE EVAPORACION FLASH DISEÑADO POR GABRIEL GUTIERREZ ARELLANO				
MEZCLA ETANOL-AGUA (1)	B. ENERGIA ETANOL-AGUA (2)	MEZCLA MULTICOMPONENTE (3)	B. ENERGIA MULTICOMPONENTE (4)	SALIR (5)
E ESCOGE UNA OPCION _				

Cada una de las opciones anteriores corresponden a las diferentes rutinas que realiza el programa, las cuales se describiran a continuacion

4.4 OPCIÓN 1. CÁLCULO PARA MEZCLA ETANOL-AGUA.

Al escoger la opción uno, aparecerá en su monitor la rutina correspondiente al cálculo de evaporación flash para mezcla etanol-agua. Ahora bien, como el objetivo principal de este programa es el de proporcionar condiciones que sean útiles en la desalcoholización de vinos, se explicara esta opción con datos que sean referentes a este proceso

En primer termino se le pedira que introduzca la presión total de operación en kPa. Escriba una presión de 54.21 y pulse la tecla **ENTER**. Procure no exceder el límite establecido por el programa, ya que el modelo termodinámico no se ajusta para presiones mayores de 101.32 kPa¹⁴

Posteriormente se requerira la temperatura de vaporización de la mezcla en K y la fracción mol inicial del etanol. Utilice un valor de 354.5 y 0.04 respectivamente,¹⁵ sin olvidar pulsar la tecla **ENTER** al final de cada una. Al instante aparecera en su pantalla los valores correspondientes a la presión de burbuja y de rocío para estas condiciones, tal como se muestra en la figura 4.6

Como recordará, para que exista evaporación flash es necesario que la presión total del sistema esté comprendida entre los puntos de rocío y de burbuja. Si esto no fuera así, entonces aparecerían en su monitor los mensajes que se ilustran en las figuras 4.7 y 4.8. Para una presión total menor a la presión de rocío y para una presión total mayor a la de burbuja, respectivamente

¹⁴ Ver 2.3.8 TRATAMIENTO PARA LAS DESIACIONES DE LA D.E. D.D.G.

¹⁵ Los vinos tienen, en promedio, un grado alcohólico del 12% en volumen el cual equivale a 0.04 en fracción mol.

Cabe señalar que si se cometiera algún error al suministrar la fracción mol. es decir que sea mayor a la unidad, entonces aparecería un mensaje de error como el que se muestra en la figura 4.9 y como consecuencia tendría que ingresar nuevamente los datos.

FIG. 4.6
RUTINA DE CÁLCULO DE LA OPCIÓN 1

«CÁLCULO DE EVAPORACIÓN FLASH
PARA MEZCLA ETANOL-AGUA»

PRESION TOTAL DE OPERACION (PSIA) (MÁXIMA 101.32) 54.21
TEMPERATURA (°F) (MÉNOS DE 374) 364.5
FRACCIÓN MOL. INICIAL DEL ETANOL 0.04

PRESION DE BURBUJA 67.323945 MPa
PRESION DE ROLLO 51.499307 MPa

o PULSA UNA TECLA 1 _

FIG. 4.7
MENSAJE PARA P = Pr

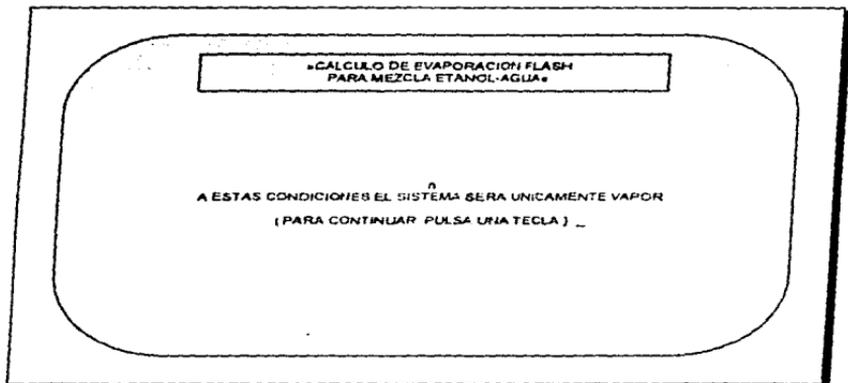


FIG. 4.8
MENSAJE PARA P = Pb

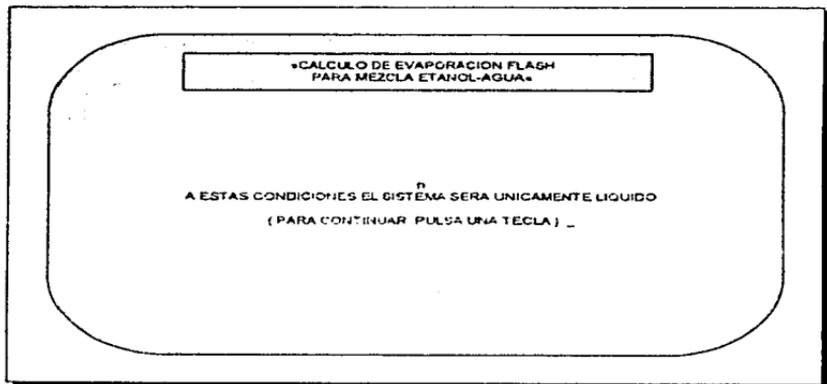
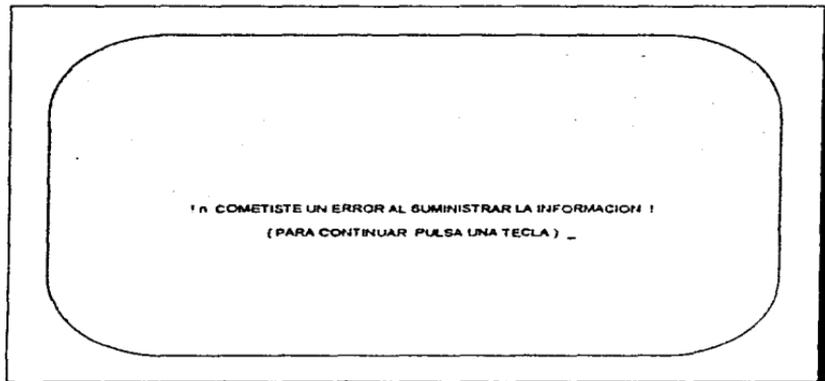


FIG. 4.9
MENSAJE DE ERROR

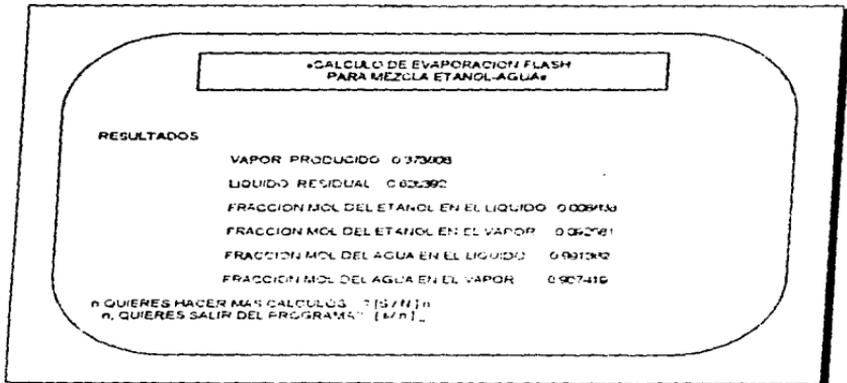


Después de pulsar cualquier tecla, aparecerán inmediatamente los resultados que se muestran en la figura 4.10. Como podrá observar los resultados concernientes a las cantidades de vapor y de líquido producidos son fracciones, ya que el programa utiliza una base de cálculo de 1 mol de alimentación.

Al final de los resultados aparecerá un mensaje indicándole si desea repetir los cálculos. Si su opción es s, entonces retornará nuevamente a la pantalla de la figura 4.6. Si por el contrario pulsa n, entonces

aparecera un mensaje preguntandole si desea salir del programa, si su respuesta es afirmativa, saldra inmediatamente al pront del sistema operativo. En este momento pulse n para regresar al menu principal

FIG. 4.10
RESULTADOS PARA EL CALCULO DE LA OPCION 1



4.5 OPCION 2. BALANCE DE ENERGIA PARA MEZCLA ETANOL-AGUA.

Estando en el menú principal, escoja ahora la opcion numero dos. De esta forma aparecera en su monitor la rutina para el cálculo del balance de energia para mezcla etanol-agua

Se le pedirá en primera instancia el valor correspondiente a la temperatura inicial de la mezcla en °C, escriba una temperatura de 25. Posteriormente introduzca la temperatura de vaporización de la mezcla, en °C y que corresponde al valor utilizado en la opción 1, es decir 81.35. Ahora proporcione la fracción mol del etanol en el líquido y en el vapor calculados con anterioridad, 0.008 y 0.092 respectivamente.

En seguida se solicitará el vapor producido en g-mol, esto debido a que la rutina del balance de energía emplea una base de cálculo de 100 g-mol de alimentación al evaporador. Debido a lo anterior, escriba un valor de 37.36.

Si por algún motivo se cometiera un error al suministrar la información, ya sea que se proporcionen fracciones superiores a la unidad, o que se escriban más de 100 moles de vapor, aparecerá un mensaje de error como el que se mostró en la figura 4.9.

A continuación se solicitará los calores específicos y latentes tanto del etanol como del agua, evaluados a la temperatura inicial de la mezcla y a la temperatura de vaporización, respectivamente.

Estos datos podrá obtenerlos con la ayuda de las figuras que se proporcionan en el Apéndice C. Para este ejemplo, los valores correspondientes para los calores específicos son de 0.64 y 0.99; y para los calores latentes 200 y 440.

Al finalizar aparecerá en su monitor la pantalla que se ilustra en la figura 4.11, pulse **ENTER** e inmediatamente aparecera el resultado del calor requerido para este proceso, como se muestra en la figura 4.12.

Nuevamente, se le preguntará si desea hacer más cálculos. Si es así, entonces regresará al inicio de esta rutina, de lo contrario aparecerá de nueva instancia el mensaje que le pregunta si desea salir del programa, pulse la tecla **n** para regresar al menú principal y poder elegir otra opción de cálculo

FIG 4.11
ROUTINA DE CÁLCULO DE LA OPCION 2

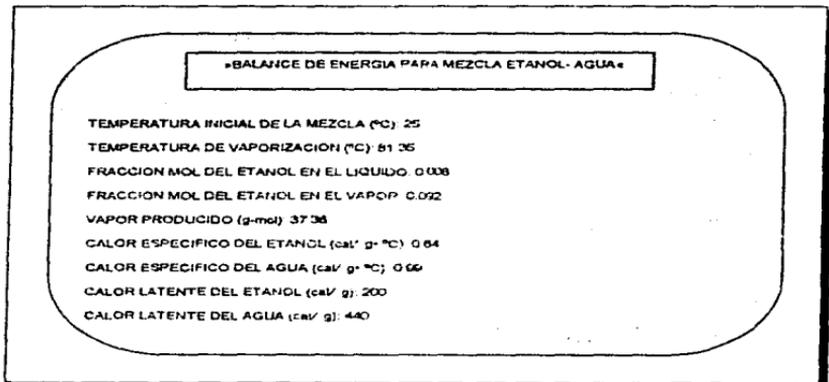
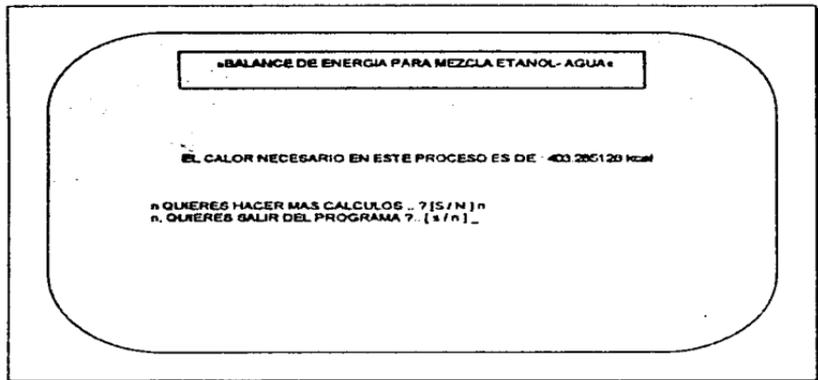


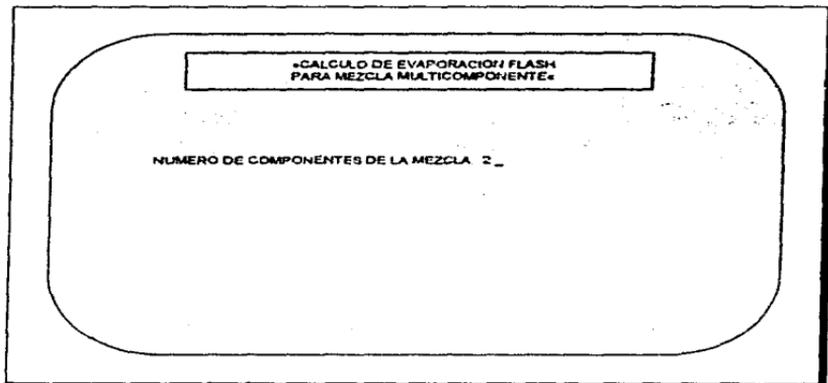
FIG. 4.12
RESULTADO PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 2



4.6 OPCIÓN 3. CÁLCULO PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE.

Esta rutina de calculo comienza preguntándole acerca del número de componentes de la mezcla, tal como se muestra en la figura 4.13. Recuerde que no deben de ser más de 5 componentes, ya que de lo contrario aparecerá un mensaje de error como el mostrado en la figura 4.9. Para demostrar esta rutina, utilizaremos una solución ideal de 2 componentes

FIG 4 13
INICIO PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 3



Una vez introducido el número de componentes, aparecerá una pantalla en donde se solicitarán los valores de las constantes de la ecuación de Antoine para los componentes que forman la mezcla. Algunos valores reportados para estas constantes podrá obtenerlos del Apéndice B. Para este ejemplo utilizaremos los valores correspondientes para el n-heptano y n-octano. Su pantalla será semejante a la de la figura 4.14.

FIG. 4.14
CONSTANTES DE ANTOINE

«CALCULO DE EVAPORACION FLASH PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE»	
CONSTANTES DE ANTOINE	
VALOR DE A PARA EL COMPONENTE 1	13.6008
VALOR DE B PARA EL COMPONENTE 1	2602.72
VALOR DE C PARA EL COMPONENTE 1	-56.0354
VALOR DE A PARA EL COMPONENTE 2	14.2308
VALOR DE B PARA EL COMPONENTE 2	3004.16
VALOR DE C PARA EL COMPONENTE 2	-56.2278

Después de escribir las constantes de Antoine, se le solicitará la presión total de operación, la temperatura de vaporización y las fracciones mol iniciales para cada uno de los componentes. Escriba los valores de 101.32, 383.35, 0.55 y 0.45 respectivamente. Si la suma de las fracciones iniciales de los componentes no fuese igual a la unidad, entonces aparecería un mensaje de error y tendría que ingresar nuevamente los datos.

Después de proporcionar los valores anteriores aparecerá la presión de burbuja y de rocío para este

sistema, tal como se muestra en la figura 4.15. Como anteriormente se explicó, si la presión total no se encontrara entre la presión de burbuja y de rocío entonces aparecerían los mensajes de las figuras 4.7 y 4.8 para cada uno de los casos correspondientes.

FIG. 4.15
CONDICIONES PARA LA OPCIÓN 3

A screenshot of a computer program interface. At the top, a title box reads "CALCULO DE EVAPORACION FLASH PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE". Below this, several input parameters are listed: "PRESION TOTAL DE OPERACION (kPa): 101.32", "TEMPERATURA (K): 353.36", "FRACCION MOL INICIAL DEL COMPONENTE 1: 0.55", and "FRACCION MOL INICIAL DEL COMPONENTE 2: 0.45". At the bottom left, the calculated results are shown: "PRESION DE BURBUJA : 103.8166-11 kPa" and "PRESION DE ROCIO : 92.04625 kPa". At the bottom right, there is a prompt: "PULSE UNA TECLA !".

«CALCULO DE EVAPORACION FLASH
PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE»

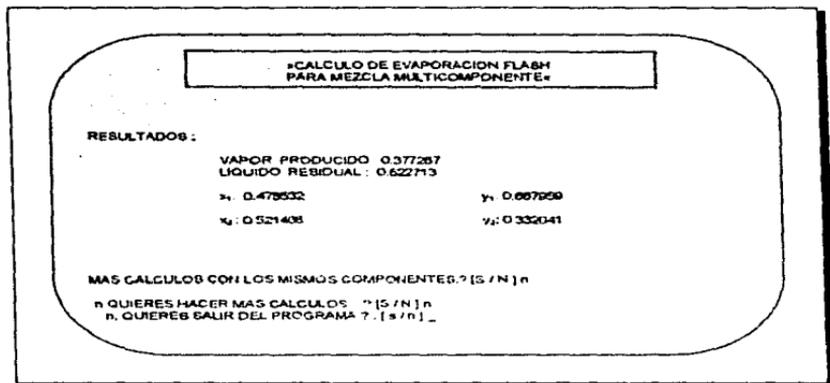
PRESION TOTAL DE OPERACION (kPa): 101.32
TEMPERATURA (K): 353.36
FRACCION MOL INICIAL DEL COMPONENTE 1: 0.55
FRACCION MOL INICIAL DEL COMPONENTE 2: 0.45

PRESION DE BURBUJA : 103.8166-11 kPa
PRESION DE ROCIO : 92.04625 kPa

PULSE UNA TECLA !

Pulse cualquier tecla para obtener los resultados de este proceso con las condiciones que se han establecido. Dichos resultados se muestran en la figura 4.16.

FIG 4 16
RESULTADOS PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 3



Como podrá observar, al final de la pantalla se le preguntará si desea realizar más cálculos con los mismos componentes pero con condiciones distintas. Si esto es así entonces regresará a la pantalla que se encuentra en la figura 4 15. Si no quiere hacer más cálculos con los mismos componentes, entonces se le indicará si quiere hacer cálculos con otro tipo de componentes. En este caso, si su respuesta es afirmativa, entonces retornará al inicio de esta rutina (figura 4 13)

Nuevamente, se le preguntará si desea salir del programa. Pulse n para regresar al menú principal.

4.7 OPCIÓN 4. BALANCE DE ENERGÍA PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE.

Al entrar a la opción cuatro aparecerá el inicio de la rutina concerniente al cálculo del balance de energía para mezcla multicomponente. En primera instancia se le pedirá la temperatura inicial de la mezcla. Utilice un valor de 30. Después se solicitará la temperatura de vaporización y el vapor producido. Utilice los valores que se registraron en la opción 3, es decir, 110.2 y 37.73 respectivamente. Posteriormente se le indicará que ingrese el número de componentes de la mezcla.

Al final, su monitor será semejante al de la figura 4.17.

FIG. 4.17
RUTINA PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 4

»BALANCE DE ENERGIA PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE«

TEMPERATURA INICIAL DE LA MEZCLA (°C): 30
TEMPERATURA DE VAPORIZACION DE LA MEZCLA (°C): 110.2
VAPOR PRODUCIDO (g-mol): 37.73

NUMERO DE COMPONENTES DE LA MEZCLA: 2_

Inmediatamente después aparecerá una pantalla en donde se solicitará las fracciones mol en el líquido y en el vapor para el primer componente, así como el calor específico, latente y su peso molecular

Para las fracciones, utilice los datos calculados en la opción 3. Los valores para el calor específico y latente, de nueva cuenta, pueden ser evaluados a través de las figuras del Apéndice C

Lo mismo hará para el segundo componente. El peso molecular para el n-heptano es de 100.2 y para el n-octano es de 114.22. Al final, su monitor se verá como se muestra en la figura 4.18

FIG. 4.18
CONDICIONES PARA EL CÁLCULO DE LA OPCION 4

«BALANCE DE ENERGIA PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE»

FRACCION MOL DEL COMPONENTE 1 EN EL LIQUIDO 0.478
FRACCION MOL DEL COMPONENTE 1 EN EL VAPOR 0.618
CALOR ESPECIFICO DEL COMPONENTE 1 (CAL/g*°C) 0.53
CALOR LATENTE DEL COMPONENTE 1 (CAL/g) 74
PESO MOLECULAR DEL COMPONENTE 1 (g/mol) 100.2

FIG. 4.18 (continuación)
CONDICIONES PARA EL CÁLCULO DE LA OPCIÓN 4

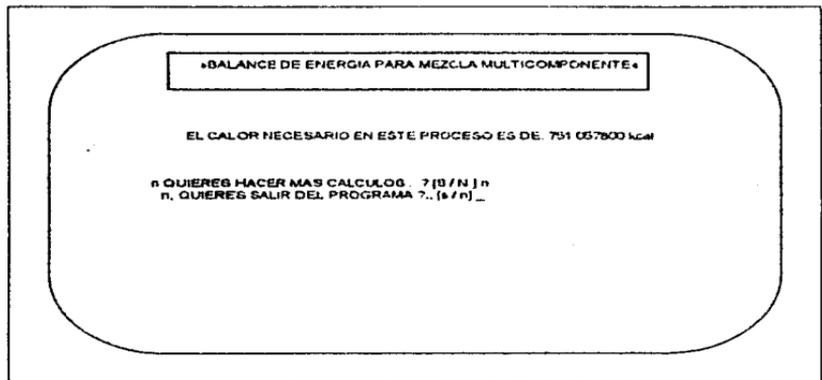
•BALANCE DE ENERGIA PARA MEZCLA MULTICOMPONENTE•

FRACCION MOL DEL COMPONENTE 2 EN EL LIQUIDO 0.522
FRACCION MOL DEL COMPONENTE 2 EN EL VAPOR 0.332
CALOR ESPECIFICO DEL COMPONENTE 2 (cal/g °C) 0.64
CALOR LATENTE DEL COMPONENTE 2 (cal/g) 75
PESO MOLECULAR DEL COMPONENTE 2 (g/mol) 114.22

Recuerde que si el vapor que introduzca es mayor a 100, o si la suma de las fracciones mol del estado líquido, o la suma de las fracciones en el estado vapor no son igual a la unidad, entonces aparecerá el mensaje de error de la figura 4.9

Después de introducir las condiciones para los dos componentes, aparecerá el resultado del calor requerido para este proceso, como se aprecia en la figura 4.19

FIG. 4.19
RESULTADO PARA EL CALCULO DE LA OPCION 4



Como en las opciones anteriores, se le preguntara si desea hacer mas calculos. Si contesta que si, entonces retornara al inicio de esta rutina. De lo contrario, se le preguntara nuevamente si desea salir del programa, pulse ahora n para regresar al menu principal

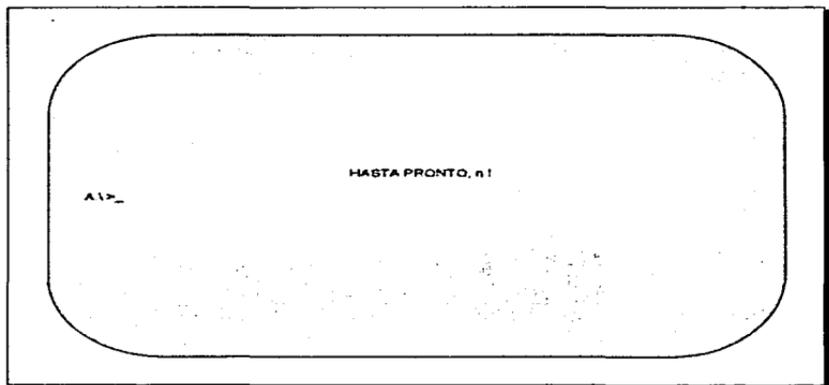
4.8 SALIR DEL PROGRAMA.

Como se habra dado cuenta, al final de cada una de las rutinas de cálculo se le pregunta si desea salir del programa y regresar al sistema operativo. De igual forma, existe una opción en el menú principal que le permite regresar al prompt del sistema.

Cuando se encuentre en cualquier rutina de calculo y se le pregunte si desea abandonar el programa, pulse simplemente la tecla **S**. Por otra parte, si no ha terminado la rutina o si se encuentra con algún problema ocasionado por introducir algun caracter por error, o porque no pueda salir de algún ciclo, entonces pulse las teclas **CTRL+C** para abandonar de inmediato el programa

Al salir, aparecerá un mensaje de despedida como el que se muestra en la figura 4.20, con lo que termina la sesión de cálculos

FIG. 4.20
DESPEDIDA DEL PROGRAMA



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las principales conclusiones a las que se ha llegado al finalizar este trabajo son las siguientes.

- Si bien la desalcoholización de vinos es una técnica que ha sido de gran utilidad para resolver algunos problemas de exceso de producción en países preponderantemente productores de vino, y a pesar de que en nuestro país el consumo de esta bebida no es muy grande en comparación con el de otras bebidas alcohólicas, en México se producen vinos de excelente calidad, los cuales pueden ser exportados ya desalcoholizados a otros países en donde el consumo de esta bebida es mucho mayor
- La desalcoholización de vinos por evaporación flash ofrece muchas ventajas en comparación con el de otras técnicas de desalcoholización . Una de las más importantes es la de poder reintegrar al vino ya desalcoholizado los aromas que son eliminados junto con el alcohol separado . Con esto se obtienen productos de muy buena calidad . Debido a lo anterior es recomendable realizar un proyecto en el cual se pueda estudiar las técnicas de recuperación de aromas, con lo cual el proceso de evaporación flash para la desalcoholización de vinos quedaría cubierto en su totalidad
- Como se ha podido observar el proceso de evaporación flash es relativamente sencillo, además las relaciones de equilibrio y la termodinámica en general que está implícita en este proceso hacen de él un objeto de estudio sumamente interesante, el cual puede ser aplicado no sólo a la obtención de productos desalcoholizados, sino también en otras operaciones involucradas con la Ingeniería de

Alimentos, como son la recuperación y concentración de compuestos aromáticos, producción de agua potable, desulfitación del mosto de uva o en la eliminación de metanol en bebidas alcohólicas

- A pesar de que la solución de problemas de evaporación flash es más recomendable realizarla a través de los balances y las relaciones termodinámicas de equilibrio de forma analítica, los gráficos termodinámicos son de gran ayuda para poder visualizar en su conjunto al proceso, por lo cual es recomendable que se disponga, en la medida de lo posible, de estos gráficos
- La computadora es una herramienta muy útil, y en algunos casos indispensable para la solución de problemas en ingeniería. Sin embargo, cabe recordar que su aprovechamiento siempre estará en función de la persona que la programa o utiliza. Así pues, si a ésta se le da información falsa, siempre dará como consecuencia resultados falsos. Por lo tanto es indispensable que nunca se deje de estudiar los fundamentos o los principios en los cuales se basan los procesos que se quieren calcular e inclusive simular, ya que la computadora no es un sustituto de la inteligencia humana
- El programa que en este proyecto se presenta, utiliza el modelo más simple que se pueda considerar de un vino, la mezcla binaria de etanol y agua. Cabe recordar que si bien los demás elementos constituyentes del vino no llegan a sumar en su conjunto más del 5% de la composición total, estos tienen una participación muy importante desde el punto de vista termodinámico. Por esto, se recomienda que se desarrollen programas en los cuales se puedan considerar, si bien no a todos, por lo menos algunos componentes más para que la modelización sea lo más cercana posible a la realidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En este mismo sentido sería muy conveniente que se realizaran pruebas en una planta piloto de evaporación flash, con la finalidad de poder evaluar los resultados que se obtienen del programa que en esta tesis se ha presentado
- Por otro lado, como el programa no se limita solamente al sistema etanol-agua sino que además realiza cálculos para mezclas multicomponente ideales, se considera que puede ser de utilidad para los estudiantes de termodinámica y de los procesos de transferencia de masa, a fin de que los ayude a comprender como se llevan a cabo estos procesos, ya que ofrece una forma rápida y sencilla de resolver este tipo de problemas
- Finalmente, es indispensable mencionar que como cualquier otro programa de cómputo que se desarrolle, este siempre será susceptible a modificaciones, cambios y mejoras, las cuales podrán ser llevadas a cabo dependiendo de los recursos o necesidades de cada usuario en particular.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 - ARECHIGA, RAFAEL FUNDAMENTOS DE COMPUTACION. LIMUSA MEXICO, 1984
- 2 - ATKINS, P.W. LINGÜÍSTICA. FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO MEXICO, 1986
- 3 - BARKAKATI, NABA THE BATH, GROUPS, TURBOC...BIBLI. SAMS U.S.A., 1991
- 4 - CENTENO Y RIVERO CAJUTO DE PLANOS DE BIBLIOLA, BOQUO Y AUTORIZACION INSTANTINEA. REVISTA ION Vol. 11, No 2, 1989 COLOMBIA
- 5 - CHARM, S E FUNDAMENTALS OF FOOD ENGINEERING. AVI U.S.A., 1981
- 6 - DESROSIER, N. W. ELEMENTOS DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. C.E.C.S.A. MEXICO, 1987
- 7 - DUFFY TIM INTRODUCCION A LA INFORMÁTICA. GRUPO EDITORIAL IBEROAMERICA MEXICO, 1993
- 8 - ESHBACH, C.E. ADMINISTRACION DE SERVICIOS DE ALIMENTOS. DIANA MEXICO, 1991
- 9 - FOUST, ALAN S. PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS. C.E.C.S.A. MEXICO, 1990
- 10 - FRANKS, ROGER MODELING AND SIMULATION IN CHEMICAL ENGINEERING. WILEY-INTERSCIENCE U.S.A., 1972
- 11 - GEANKOPLIS, C.J. PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS. C.E.C.S.A. MEXICO, 1991
- 12 - GOYENECHEA, MA TERESA. EL USO DEL VIDEO. INDUSTRIA. ORGANISMO INFORMATIVO DE LA CONCAMIN Vol. 1, No 7, 1989 MEXICO
- 13 - GRANET, IRVING TERMODINAMICA. PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA MEXICO, 1988
- 14 - HANLY, J. R. PROBLEM SOLVING AND PROGRAM DESIGN IN C. ADDISON WESLEY PUBLISHING COMPANY U.S.A., 1991
- 15 - HART, D. L. ANÁLISIS NUTRICIONAL DE LOS ALIMENTOS. ACRIBIA ESPAÑA, 1984
- 16 - HARTNEL, TIM. SYSTEMS EXPERTISE: INTRODUCCION AL DISEÑO DE APLICACIONES. ANAYA-MULTIMEDIA ESPAÑA, 1986
- 17 - HENLEY, E.J. OPERACIONES DE SEPARACION POR ETAPAS DE EQUILIBRIO EN QUÍMICA. REPLA ESPAÑA, 1990
- 18 - HERNÁNDEZ ORALLO, E. PROGRAMACION EN C++. PARANINFO ESPAÑA, 1993

BIBLIOGRAFIA

- 19 - LA UNIÓN SINDICAL TÉCNICA, ANIGUO Y NUEVO MEXICO, INDUSTRIA, ORGANO INFORMATIVO DE LA CONCAMIN, Vol. 1, No. 7, 1989 MEXICO
- 20 - LARREA R ANTONIO DE LA UNIÓN AEDOS ESPAÑA, 1978
- 21 - LEVINE GUTIERREZ, G INTRODUCCION A LA COMPUTACION Y A LA PROGRAMACION EN EL CONTROL McGRAW-HILL MEXICO, 1991
- 22 - LORA, J SIMULACION DEL PROCESO DE DESTILACION PARA LA CONCENTRACION DE AROMAS DEL VINO REVISTA ESPAÑOLA DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS Vol. 32, No. 6, 1992 ESPAÑA
- 23 - LLUCH Y FLORS DESTILACION DE VINOS DE FRUTAS NUEVO CALCULO DE PROCESOS DE DESTILACION DE MOSTO DE UVA POR EL METODO DE LA ADOPCION FLASH EN UN DIAGRAMA DE EQUILIBRIO REVISTA DE AGROQUIMICA Y TECNOLOGIA ALIMENTARIA, Vol. 19, No. 3, 1979 ESPAÑA
- 24 - MARECA, C I TECNOLOGIA ENCOMUNICACIONES Y TECNICOS SOBRE LA UNIÓN ALHAMBRA ESPAÑA, 1982
- 25 - McCABE, W L OPERACIONES BASICAS DE INGENIERIA QUIMICA, McGRAW-HILL MEXICO, 1991
- 26 - MICHAUD, JULIO EL LIBRO DEL VINO MEXICANO CASA PEDRO DOMÉCO MEXICO, 1990
- 27 - MSTAIR, RALPH PRINCIPIOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS (CONCEPTOS, OPERACIONES Y CASOS) UTEHA MEXICO, 1986
- 28 - MURRAY Y CHICUREL APLICACIONES DE COMPUTACION Y LA INGENIERIA LINUSA MEXICO, 1976
- 29 - NEIBALER, ALAN R. EL PRIMER PROGRAMA VENTURA MEXICO, 1985
- 30 - OCON Y TOJO PROBLEMAS DE INGENIERIA QUIMICA AGUILAR ESPAÑA, 1960
- 31 - PERRY, R. H MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO McGRAW-HILL MEXICO 1992
- 32 - PEYNAUD, EMILE ETIOLOGIA PRACTICA, CONOCIMIENTO Y LABORACION DEL VINO MUNDI-PRENSA ESPAÑA, 1984
- 33 - PRATT, J W MANUALS DE PROGRAMACION PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA MEXICO, 1987
- 34 - PRALSNITZ, J M COMPLETE CALCULATIONS FOR MELECOLO, VINO Y QUIMICO DE EQUILIBRIO PRENTICE-HALL U.S.A., 1967
- 35 - PRIMO, YUFERA QUIMICA AGRICOLA Y ALIMENTICIA ALHAMBRA ESPAÑA 1979
- 36 - RAMIREZ, J W COMPUTATIONAL METHODS FOR PROCESS SIMULATION BUTTER WORTH PUBLISHERS, U.S.A., 1989
- 37 - REKLAITIS, G V BIOMASAS DE MATERIA Y ENERGIA McGRAW-HILL MEXICO, 1989

BIBLIOGRAFIA

- 38 - SALVADOR, MA. D. DESALCOHOLIZACION DE VINOS POR ELAPORACION RELAMPAGO, REVISTA DE AGROQUINICA Y TECNOLOGIA ALIMENTARIA Vol 28, No 2, 1988 ESPAÑA
- 39 - SALVADOR Y PEREZ NOTA FINAL COMPARATIVO DE LA ELAPORACION RELAMPAGO Y LA RECLIFICACION EN COLUMNA PARA LA ELABORACION DE VINOS DE BAJO CONTENIDO ALCOHOLICO REVISTA DE AGROQUINICA Y TECNOLOGIA ALIMENTARIA Vol 30, No 4, 1990 ESPAÑA
- 40 - SCHILDT, HERBERT PROGRAMACION EN TURBO C, McGRAW-HILL MEXICO, 1991
- 41 - SCHILDT, HERBERT LENGUAJE C, PROGRAMACION DINAMICA, McGRAW-HILL MEXICO, 1990
- 42 - SHAEFLER, W. INTRODUCCION A LAS COMPUTADORAS, LIMUSA MEXICO, 1986
- 43 - SISA, A. J. ESTRUCTURAS DE INFORMACION, McGRAW-HILL COLOMBIA, 1989
- 44 - SMITH Y VAN NESS INTRODUCCION A LA TERMOQUIMICA Y INGENIERIA QUIMICA, McGRAW-HILL MEXICO, 1989
- 45 - TREYBAL, R. E. OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA, McGRAW-HILL MEXICO, 1980

APÉNDICE A:

**NORMA OFICIAL MEXICANA
(NOM-V-12-1986)**



**SECRETARIA DE COMERCIO
Y
FOMENTO INDUSTRIAL**

**NORMA OFICIAL MEXICANA
NOM-V-12-1986**

BEBIDAS ALCOHOLICAS - VINOS - ESPECIFICACIONES

ALCOHOLIC BEVERAGES - WINES - SPECIFICATIONS

DIRECCION GENERAL DE NORMAS



SECOFI - DGN

NOM-V-12-1986

P R E F A C I O

En la elaboración de la presente Norma participaron los siguientes Organismos:

- SECRETARIA DE SALUD. LABORATORIO NACIONAL DE REFERENCIA.
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACION. DEPARTAMENTO DE NORMAS Y CONTROL DE CALIDAD.
- ASOCIACION NACIONAL DE VITIVINICULTORES, A. C.
- LA MADRILEÑA, S. A.
- PRODUCTOS DE UVA, S. A.
- CIA. VINICOLA DEL VERGEL, S.A. DE C.V.
- INDUSTRIAS VINICOLAS DOMEQ, S.A. DE C.V.
- BODEGAS DE SANTO TOMAS, S.A. DE C.V.
- FREXENET DE MEXICO, S.A.
- VINICOLA SELLER, S.A. DE C.V.



NORMA OFICIAL MEXICANA
BEBIDAS ALCOHOLICAS - VINOS -
ESPECIFICACIONES

NOM
V-12-1986

ALCOHOLIC BEVERAGES - WINES - SPECIFICATIONS

0 INTRODUCCION

Las especificaciones que se establecen en esta norma, sólo podrán satisfacerse cuando en la elaboración del producto objeto de esta norma, se utilicen materias primas e ingredientes de calidad sanitaria, se apliquen buenas técnicas de elaboración, en locales e instalaciones bajo condiciones higiénicas que aseguren que el producto es apto para el consumo humano.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones que deben cumplir las Bebidas alcohólicas denominadas Vinos.

2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

- | | |
|------------|---|
| NCM-V-6 | Bebidas alcohólicas - Azúcares reductores directos y totales - Método de prueba. |
| NCM-V-13 | Bebidas alcohólicas destiladas - Determinación del porcentaje de alcohol en volumen en la escala Gay - Lussac a 28° K (15°C). |
| NOM-V-15-S | Bebidas alcohólicas destiladas - Determinación de acidez fija. |
| NCM-V-16-S | Bebidas alcohólicas destiladas - Determinación de acidez total. |
| NOM-V-17 | Bebidas alcohólicas - Determinación de extracto seco y cenizas. |
| NOM-V-21 | Bebidas alcohólicas destiladas - Determinación de metanol. |
| NOM-V-26 | Bebidas alcohólicas - Determinación de acidez volátil. |
| NOM-V-35-S | Bebidas alcohólicas - Determinación de bitáxico de azufre total. |



NOM-2-12 Muestreo para la inspección por atributos.
SECOFI-DGN

3 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Vino

Se entiende por vino, la bebida resultante, exclusivamente, de la fermentación alcohólica completa o parcial de mostos de uva en contacto o no de sus huesos.

3.2 Mostos de uva

3.2.1 Mosto de uva fresca

Es el jugo de uvas frescas, limpias y sanas, obtenido del estrujado y/o escurrido y/o prensado de las mismas.

3.2.2 Mosto de uva concentrado

Es el jugo de uvas, limpias y sanas obtenido del estrujado y/o escurrido y/o prensado de las mismas, sometido a un proceso de deshidratación.

3.2.3 Mosto de uva pasa

Es el producto derivado de la rehidratación parcial de la uva pasa sometida al estrujado y/o escurrido y/o prensado de las mismas.

3.3 Vino de marca

Son aquellos en que los propietarios o negociantes no destacan en la etiqueta, ni el origen del vino ni la o las variedades de la uva empleada, únicamente la marca.

3.4 Vino varietal

Son aquellos que contienen el 100 % de una variedad de uva.

3.5 Vino de origen

Son aquellos en los que se da importancia a la región o localidad en donde fueron producidas las uvas, de las que contendrá el 100 %.

4 CLASIFICACION

El producto objeto de esta norma se clasifica en tres calidades: vino, vino de mosto concentrado y vino de uva pasa y que a su vez podrán ser:

Tipo 1 Vino blanco

Es el producto de la vinificación de los mostos de uvas blancas o de mostos blancos de uvas tintas.

Tipo II **Vino tinto** SECOFI-DGN
Es el producto de la vinificación de los mostos de uvas tintas, con maceración más o menos prolongada de sus orujos, o de la vinificación de mostos de uvas cuyo jugo es tinto.

Tipo III **Vino rosado**
Es el producto de la vinificación de los mostos de uvas rosadas o de uvas tintas con maceración parcial de sus orujos.

4.1 Si se desea resaltar el que los vinos sean secos, semisecos o semidulces y dulces, para ese caso deberán de contemplar los siguientes parámetros:

4.2 El vino se considera seco, cuando su contenido sea menor de 10 - g/l de materias reductoras expresadas en azúcar invertido.

4.3 El vino se considera semiseco o semidulce, cuando su contenido de materias reductoras expresadas en azúcar invertido sea mayor de 10 y menor de 30 g/l.

4.4 El vino se considera dulce, cuando su contenido en materias reductoras expresada en azúcar invertido sea mayor de 30 g/l.

5 ESPECIFICACIONES

El producto objeto de esta norma, en sus tres tipos, debe cumplir con las siguientes especificaciones.

5.1 Sensoriales

Color: Característico del tipo que se trate.

Olor: Característico.

Sabor: Característico.

5.2 Físicas y químicas

Los vinos en sus tres tipos deben cumplir con las especificaciones físicas y químicas anotadas en la tabla 1:

T A B L A 1

ESPECIFICACIONES	MINIMO	MAXIMO
- Grado alcohólico G. L. real a 288 K (15°C)	8.5	14.0
- Extracto seco reducido g/l	15.0	
- Cenizas g/l	1.0	
- Acidez total (como ácido tartárico, g/l)	4.5	10.0

(Continúa tabla)

- Acidez volátil total corregida (como ácido acético, g/l)	SECOFI-DGN	1.2
- Acidez fija (como ácido tartárico, g/l)		4.0
- Metanol mg/100 ml en alcohol 100 %		300.0
- Brixido de azufre total mg/l		300.0

5.3 Aditivos

Los permitidos y en los límites que establezca la Secretaría de Salud.

6 MUESTREO

Cuando se requiera el muestreo del producto, éste podrá ser establecido de común acuerdo entre productor y comprador, recomendándose el uso de la Norma Oficial Mexicana NOM-2-12.

6.1 Muestreo Oficial

El muestreo para efectos oficiales, estará sujeto a la legislación y disposiciones de la Dependencia Oficial correspondiente, recomendándose el uso de la Norma Oficial Mexicana NOM-2-12.

7 METODOS DE PRUEBA

Para comprobar las especificaciones físicas y químicas que se establecen en esta norma, se deben aplicar las Normas Oficiales Mexicanas que se indican en el capítulo de Referencias, véase 2.

8 MARCADO, ETIQUETADO, ENVASE Y EMBALAJE

8.1 Marcado y etiquetado

8.1.1 Marcado en el envase

Cada envase del producto debe llevar una etiqueta o impresita permanente, visible e indeleble con los siguientes datos:

- Nombre del producto, conforme a la clasificación de esta norma.
- Nombre comercial o marca registrada, pudiendo aparecer el símbolo del fabricante.
- El "Contenido Neto" de acuerdo a las disposiciones vigentes de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- Grado alcohólico real a 288 K (15° C) en la escala Gay-Lussac.
- Nombre o razón social del fabricante o propietario de registro y domicilio donde se elabore el producto.



- La leyenda "HECHO EN MEXICO". SECOFI-DGN
- Texto de las siglas Reg. S.S.A. No. _____ "B", debiendo figurar en el espacio en blanco el número del registro correspondiente.
- Registro Federal de Causantes de la Empresa.
- La leyenda que indica el artículo 218 de la Ley de Salud, ésta podrá ir en la contraetiqueta.
- En la etiqueta se puede especificar la clasificación a que corresponde el vino, de acuerdo a las definiciones dadas en el punto 3.
- Los vinos se pueden fechar, figurando en el etiqueta, contraetiqueta o collarín, el año de elaboración solo cuando el procesador pueda acreditar que la cosecha corresponde al año anotado.

8.1.2 Marcado en el embalaje

Deben anotarse los datos necesarios para identificar el producto y todos aquellos otros que se juzguen convenientes, tales como las precauciones que deben tenerse en el manejo y uso de los embalajes.

8.2 Envase

El producto objeto de esta norma se debe envasar en recipientes de tipo sanitario, elaborados con materiales resistentes a las condiciones habituales del envasado y almacenaje, de tal naturaleza que no reaccionen y no se disuelvan, alterando las características físicas, químicas y sensoriales, ni que produzcan sustancias tóxicas en el producto.

8.3 Embalaje

Para el embalaje del producto objeto de esta norma se deben usar cajas de cartón o envolturas de algún otro material apropiado, que tengan la debida resistencia y que ofrezcan la protección adecuada a los envases para impedir su deterioro exterior, a la vez faciliten su manipulación en el almacenamiento y distribución de las mismas, sin exponer a las personas que las manipulen.

9 ALMACENAMIENTO

El producto terminado debe almacenarse en locales que reúnan los requisitos sanitarios que señala la Secretaría de Salud.

10 BIBLIOGRAFIA

- NOM-Z-13-1977 Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas.

SECOFI-DGN

- Amerhe M.A. and Ough C.S. Methods for Analysis of musts and Wines - University of California Editor John Wiley and Sons, 1980.
- Ribereau - Gayon J. Peynaud E. Análisis de vinos Editorial Aguilar Madrid, 1962.

11 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

No se puede establecer concordancia por no existir referencia al momento de la elaboración de la presente.

APENDICE A

A.1 Se podrán realizar las operaciones permitidas por el Reglamento de la Ley General de Salud de la Secretaría de Salud en vigor, además de las resultantes del desarrollo de nuevas tecnologías, entre otras, la adición, únicamente cuando sea necesario, de 2 kg de sacarosa por 100 litros de mosto.

México, D.F., a 14 JUL 1986

LA DIRECTORA GENERAL DE NORMAS

LIG. CONSUELO SAIZ PUEYO.

APÉNDICE B:

**CONSTANTES DE ANTOINE
PARA ALGUNOS
COMPONENTES PUROS**

Constantes de Antoine en SI. (P = kPa ; T= K).

NOMBRE	A	B	C
Acetaldehido	15 1206	2845 25	-22 0670
Acetico, acido	15 8667	4097 86	-27 4937
Agua	16 5362	3985 44	-38 9974
Amoniaco	15 4940	2363 24	-22 6207
Benceno	14 1603	2948 78	-44 5633
Carbono, dióxido	15 3768	1956 25	-2 1117
Ciclohexano	13 7865	2794 58	-49 1081
Cloro	14 1372	2055 15	-23 3117
Etano	13 8797	1582 18	-13 7622
Etanol	16 1952	3423 53	-55 7152
Etilenglicol	16 1847	4493 79	-82 1026
Etileno	13 8182	1427 22	-14 3080
Fenol	15 2767	4027 98	-76 7014
Furfural	16 7802	5365 88	5 6186
Isobutanol	15 4994	3246 51	-82 6994
Metano	13 5840	968 13	-3 7200
Metanol	16 4948	3593 39	-35 2249
Metilo, acetato	14 7074	2917 70	-41 3724
n-Butanol	14 6961	2902 96	-102 9116
n-Heptano	13 9008	2932 72	-55 6356
n-Octano	14 2368	3704 16	-55 2278
n-Propanol	15 2175	3008 31	-86 4909
Naftaleno	13 7520	3701 48	-85 8319
o-Xileno	14 1257	3412 02	-58 6824
p-Xileno	14 0891	3351 69	-57 6000
Propiónico, acido	15 4276	3761 14	-66 0009
Tolueno	14 2515	3242 38	-47 1806
Tricloroetileno	14 3346	3131 21	-37 7666
Trietilenglicol	17 8140	6589 03	-57 0789
Trimetilamina	13 8650	2239 10	-33 8347
1-Hepteno	13 8747	2895 90	-53 9388
1-Hexeno	13 7987	2657 34	-47 1749
1,2-Dicloroetano	14 3572	3069 08	-42 3468
1,3-Butadieno	14 0719	2280 96	-27 5956

FUENTE REKLAITIS *BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA*, MCGRAW-HILL MEXICO, 1989

APÉNDICE C:

CALORES LATENTES Y ESPECÍFICOS DE ALGUNOS COMPONENTES PUROS

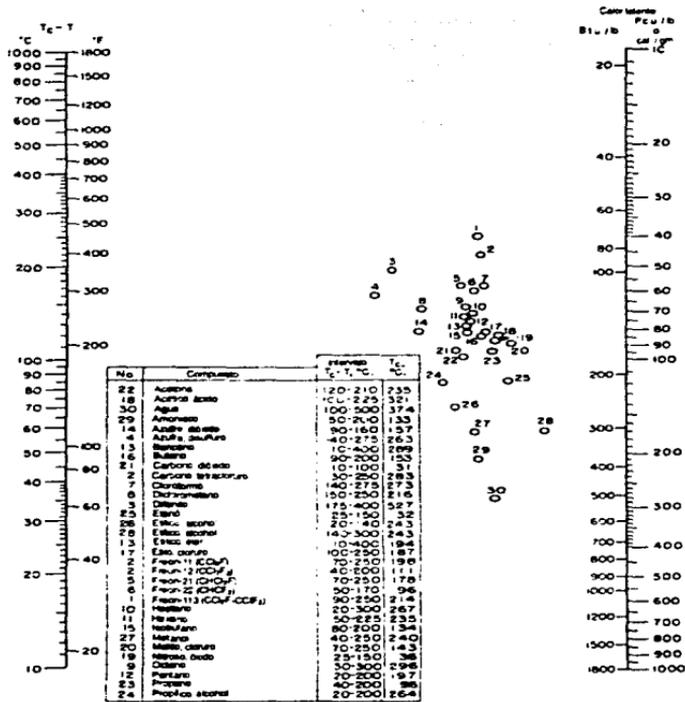


FIG. 3-8. Criterios de vaporización. (Calkins, Calkins, y otros, informe personal. Basados principalmente en datos de International Critical Tables.)

$$\text{Calor específico} = 0.01(\text{g}^{\circ}\text{C}) + 81.4(\text{Btu}) / (\text{lb})^{\circ}\text{F} + 0.01(\text{B}) / (\text{C})$$

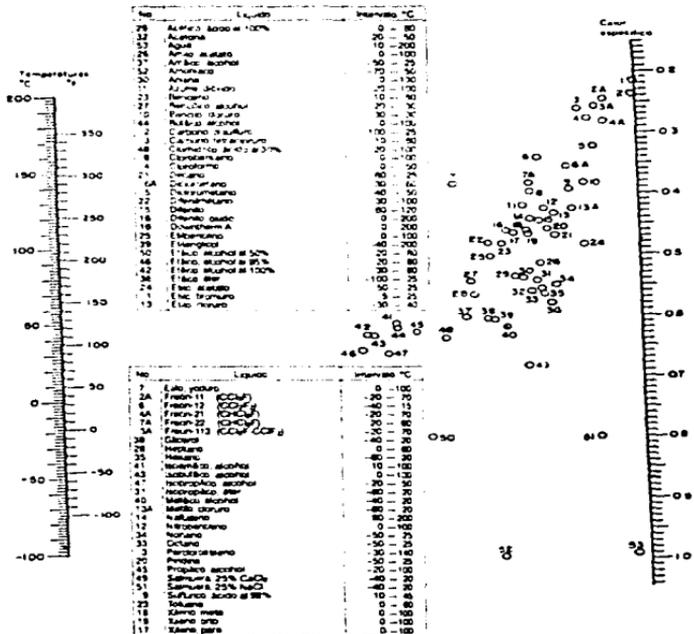


FIG. 3-11 Valores específicos de líquidos (Chester, Colburn y Vernon, informe personal. Basados principalmente en datos de International Critical Tables.)