



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE  
PRODUCCIÓN DE RESINAS FENÓLICAS (TIPO RESOL)  
EN RESINAS MÚLTIPLES S.A.**

---

**Prof. María del Carmen  
Rodríguez**  
**Tutor Académico**

---

**Ing. Oscar Ostos**  
**Tutor Industrial**

**Autor (es):**

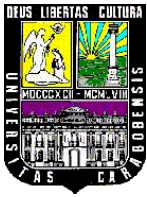
---

**Br. Daniela Ostos**

---

**Br. Vanessa Pérez**

**Valencia, Abril 2008**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE  
RESINAS FENÓLICAS (TIPO RESOL) EN RESINAS MÚLTIPLES S.A.**

*TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD  
DE CARABOBO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO QUIMICO*

**Autor (es):  
Daniela Ostos  
Vanessa Pérez**

**Valencia, Abril 2008**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE  
PRODUCCIÓN DE RESINAS FENÓLICAS (TIPO RESOL)  
EN RESINAS MÚLTIPLES S.A.**

**Prof. María del Carmen  
Rodríguez  
TUTOR ACADÉMICO**

**Ing. Oscar Ostos  
TUTOR INDUSTRIAL**

**Autor (es):  
OSTOS, Daniela  
PÉREZ, Vanessa**

**Valencia, Abril 2008**

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para evaluar el trabajo Especial de grado titulado: **“FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE RESINAS FENÓLICAS (TIPO RESOL) EN RESINAS MÚLTIPLES S.A.”**, realizado por las bachilleres Ostos G., Daniela A. C.I. 16.692.139, y Pérez P., Vanessa T. C.I. 16.051.766, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsable de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

---

Prof. (a). Maria del Carmen Rodríguez

Presidente

---

Prof. (a). Alberto Martínez

Jurado

---

Prof. (a). Maria Cristina Colmenares

Jurado

**Valencia, Abril 2008**



## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad, en especial a la escuela de ingeniería química por ser las ingenieros que somos y encaminarnos a un futuro lleno de logros y éxitos tanto personales como profesionales.

A la empresa, por el apoyo suministrado tanto financiero como técnico, y ayudarnos de esta forma a lograr todos los objetivos planteados al inicio de este proyecto.

Al departamento de investigación y desarrollo de Resinas Múltiples, por ser fuente de conocimiento e inspiración durante nuestro paso por la empresa, en especial al tutor académico Oscar Ostos, quien fue además de guía, cómplice, padre, y amigo.

A la profesora María del Carmen Rodríguez, por ser una excelente guía y gran motivadora a lo largo de todo el proyecto.

A los profesores de la escuela de ingeniería química, por ser forjadores de futuro y mantener abiertas y disponibles las puertas de conocimiento.







## DEDICATORIA

A dios nuestro señor primeramente por darme la vida, salud, por iluminarme y guiarme en todo momento y en especial durante el transcurso de mi carrera.

A mis padres; Williams José y Taidee Milagros, por darme la vida, por estar allí día a día con sus consejos y por tan maravillosa crianza que me ayudaron a ser una mujer de bien y la profesional que hoy he logrado ser, son unos seres maravillosos e imprescindibles en mi vida.

A mi hermana; Daniela, por darme el apoyo y los consejos asertivos que siempre necesite durante mi carrera, por tu amor y amistad incondicional.

A mis abuelos; Matilde, Juanita, León y Ricardo, por ser seres ejemplares en mi vida, por su inmenso amor, apoyo y bendiciones; y en fin, por todo el apoyo prestado cada día y cada año de mi carrera.

A todos mis demás familiares, amigos, seres queridos y a los que siempre estuvieron allí celebrando mis triunfos y apoyándome en las adversidades, gracias.

Vanessa T. Pérez P

*Dios todo poderoso, quien ha marcado el sendero a seguir durante toda mi vida y hacerme la persona que soy.*

*Mis padres **Oscar Ostos y Elide Graterol**, por ser los pilares de mi vida y hacer de mi vida una experiencia maravillosa y llenarla de amor y alegría...  
Gracias mis viejos!!*

*A mis hermanos **Carlos Daniel y Oscar Gabriel**, por ayudarme a liberar el estrés con sus momento de locura. Los adoro!!*

***Mi Gordito**, por ser mi fiel confidente y mi incondicional pañito de lágrimas... Te quiero un mundo mi feo!!*

***Mi abuela Felicia, mis tías, tíos y primos** que desde Barquisimeto mandarme todas sus bendiciones.*

*Mi compañera de tesis **Vanessa**, y mis amigas incondicionales **Edenys, Nayri, Nelsy y Landa***

*Sobre todo a mi **Nona Teresa** que el tiempo no le alcanzo para verme cumpliendo esta meta, pero yo se que donde quiera que este su energía se encuentra vibrando de felicidad... Te extraño mi nonita.*

**Daniela A. Ostos G**

## RESUMEN

En la presente investigación se realizó un estudio de la factibilidad técnico – económica de una planta de producción de resinas fenólicas tipo resol. Con la finalidad de llevar a cabo este proyecto, se realizó un estudio de mercado actualizado del consumo de resinas tipo resol a nivel nacional, además se seleccionó la tecnología adecuada para su producción, se obtuvo la resina fenólica tipo resol a nivel de laboratorio y planta piloto, posteriormente se diseñaron los equipos más importantes y necesarios para la instalación de la planta a escala industrial y así determinar la factibilidad económica del proyecto. La fase experimental de la investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la planta Resinas Múltiples S.A ubicada en la zona industrial, Avenida Isaías Medina Angarita de Cagua Edo Aragua, donde se representó el proceso de producción de resina fenólicas tipo resol.

Para cumplir con los objetivos planteados del estudio se revisaron las tecnologías existentes referentes a la producción de resinas fenólicas y se realizó un reconocimiento de las instalaciones de la planta. Se prepararon resinas fenólicas tipo resol a nivel de laboratorio para fijar las condiciones de operación y posteriormente en planta piloto para realizar el análisis del intercambio térmico que se lleva a cabo en el proceso a fin de cumplir con las especificaciones señaladas para su aplicación. Una vez fijada las condiciones de operación y las características propias del aprovechamiento térmico se diseñaron los equipos necesarios para la instalación de la planta. La capacidad de producción fue establecida mediante un estudio previo de mercado. Para finalizar se hizo un estudio de la factibilidad económica de este proyecto.

Los parámetros de presión, temperatura y velocidad de calentamiento de la producción de resina fueron satisfactoriamente implementados y por razones de confidencialidad de la fórmula no se pueden especificar las proporciones de la materia prima como tampoco las condiciones exactas de operación. Los equipos fueron dimensionados a partir del estudio de mercado realizado previamente, la organización cuenta con un reactor con un capacidad de 1500 gal el cual se adapta a las exigencias

del mercado, el mismo cuenta con un serpentín interno en forma de espiral. Los equipos diseñados son: condensador tubo y coraza, de un solo paso por los tubos con área de intercambiador de calor de  $34.62 \text{ m}^2$ , agitador tipo turbina de 6 palas inclinadas con una potencia de motor de 10 Hp, bomba de vacío de anillo líquido con una capacidad máxima de vacío de 0 – 27 mmHg y  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , y por último un serpentín de enfriamiento interno el cual requiere un flujo de fluido refrigerante mínimo de  $9.51 \text{ Kg/s}$ , para disminuir la temperatura de la resina a 30 K., en un tiempo comprendido entre 20 y 30 minutos.

Entre las conclusiones más importante se tiene que debe llevarse un control exhaustivo de la temperatura para proporcionar las condiciones de calidad requeridas a la resina, existen estrategias claves durante la producción de la resina para mejorar la eficiencia del proceso tales como: un vacío adecuado para disminuir el tiempo de deshidratación de la resina, garantizar una agitación constante para que la resina no se solidifique dentro del reactor. Del estudio de la factibilidad económica se verifica que el proyecto es factible

De las recomendaciones más relevantes se tiene la instalación de medidores de presión y temperatura en el condensador para mejorar la eficiencia del mismo, cambiar el fluido refrigerante del serpentín para mejorar el intercambio térmico, y estudiar la posibilidad de instalar una planta de tratamiento de agua para reutilizar la misma.

## INDICE GENERAL

Contenido .....	Pag
<b>Introducción</b> .....	1
<b>Capitulo I. Planteamiento del problema</b>	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	5
1.2.1. Situación Actual.....	5
1.2.2. Situación Deseada .....	6
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. Justificación.....	7
1.5. Limitaciones.....	8
<b>Capitulo II. Marco teórico</b>	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Resinas fenólicas.....	15
2.2.1 Química y producción de las resinas fenólicas.....	15
2.2.2 Estructura química.....	16
2.2.3 Reacción química.....	17
2.2.3.1 Metilolación.....	17
2.2.3.2 Condensación.....	18
2.2.4 Clasificación de resinas fenólicas.....	19
2.2.4.1 Resinas fenólicas tipo novolaca.....	19
2.2.4.2 Resinas fenólicas tipo resol.....	22
2.2.5 Endurecimiento de resoles y novalacas.....	25
2.2.6 Fabricación de resinas fenólicas .....	27
2.2.7 Parámetros de reacción de las resinas fenólicas.....	29
2.2.7.1 Naturaleza del catalizador.....	29
2.2.7.2 Concentración del catalizador.....	29
2.2.7.3 Razón Fenol-Aldehído.....	30

2.2.7.4 Naturaleza química del fenol y del aldehído.....	30
2.2.7.5 Temperatura y tiempo de reacción.....	30
2.2.7.6 Agentes modificadores, rellenos y modificadores.....	31
2.2.8 Producción industrial de resinas fenólicas.....	31
2.2.8.1 Etapa de condensación.....	32
2.2.8.2 Etapa de Deshidratación.....	33
2.2.9 Producción de resinas fenolicas tipo resol por carga.....	34
2.2.9.1 Policondensación con destilación al vacío.....	34
✓ Materias Primas.....	35
✓ Equipos.....	35
✓ Metodología de producción.....	35
2.2.9.2 Producción de resinas fenólicas tipo resol mediante un sistema con aprovechamiento térmico.....	37
✓ Materias Primas.....	37
✓ Equipos.....	37
✓ Metodología de producción.....	38
2.2.9.3 Producción de resinas fenólicas tipo resol mediante el sistema dowterm.....	40
2.2.10 Producción de resinas fenólicas tipo resol mediante un sistema continuo.....	41
✓ Materias Primas.....	41
✓ Equipos.....	42
✓ Metodología de producción.....	43
2.2.11. Control de calidad y métodos de análisis.....	43
2.2.11.1. Viscosidad.....	43
2.2.11.2. Dilubilidad del agua.....	44
2.2.11.3. Gravedad especifica.....	44
2.2.11.4. Punto de fusión.....	45
2.2.11.5. Tiempo de gelación.....	45
2.2.12. Seguridad en la operación de Resinas Fenólicas.....	45
2.2.13. Procedimiento de diseño del condensador.....	48

2.2.13.1. Cálculo del calor intercambiado en el equipo.....	48
2.2.13.2. Cálculo de los flujos másicos.....	48
2.2.13.3. Estimación del coeficiente global de transferencia de calor ( $U_o$ ).....	48
2.2.13.4. Cálculo del área.....	48
2.2.13.5. Cálculo de la variación de la temperatura ( $\Delta T_{ml}$ ).....	48
2.2.13.6. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor ( $U_o$ ).....	49
✓ Coeficiente convectivo externo.....	49
✓ Coeficiente convectivo interno.....	49
2.2.14. Procedimiento de diseño de la bomba de vacío.....	49
2.2.14.1. Elección del sistema de recuperación.....	50
✓ Sistema de recuperación completo.....	50
✓ Sistema de recuperación parcial.....	51
✓ Sistema de un solo paso.....	52
2.2.14.2. Cálculo del caudal volumétrico de retiro de la bomba.....	52
2.2.15. Procedimiento de diseño del agitador.....	52
2.2.17.1 Dimensiones del agitador.....	52
2.2.17.2 Cálculo del número de reynolds y número de potencia.....	53
2.2.17.3 Cálculo de la potencia del motor.....	53
2.2.17.4 Requerimientos de potencia sugeridos.....	53
Capitulo III. Marco Metodológico	
3.1 Caracterizar la resina fenólica tipo resol a fin de conocer sus parámetros físico-químicos .....	55
3.1.1 Documentación técnica referente a la toxicología y a la manipulación de las especies reactantes y del producto de la sinterización de la resina fenólica.....	57

3.1.2 Definición del método experimental, de los equipos y reactivos necesarios para la medición de las características que se desean conocer.....	57
3.1.3 Búsqueda y obtención de la muestra de Resina Fenólica con los proveedores actuales.....	57
3.1.4 Determinación experimental de los parámetros físico – químicos de la muestra de la resina fenólica tipo resol.....	58
3.2 Analizar el mercado actual referido al consumo nacional de resoles con la finalidad de estimar el tamaño de la línea de producción.....	59
3.2.1 Estudio de la data de producción, importación y demanda de Resinas Fenólicas tipo Resol en los últimos años.....	59
3.2.2 Planteamiento, aplicación y análisis de la ronda de preguntas efectuada.....	60
3.2.3 Estimación del tamaño de la línea de producción de resoles.....	61
3.3 Analizar la tecnología existente con el propósito de seleccionar la que mejor se adapte al requerimiento en planta.....	61
3.3.1 Estudio de las tecnologías de producción existentes en el mercado.....	62
3.3.2 Planteamiento, diseño, aplicación, validación y análisis de la tormenta de ideas.....	62
3.3.2.1. Estudio de las tecnologías de producción y del mercado existente de resinas Fenólicas tipo resol.....	63
3.3.3 Selección de la tecnología que mejor se adapte a los requerimientos de la organización.....	65
3.4 Realizar ensayos experimentales variando los parámetros de operación para mejorar el proceso de producción de resinas.....	66
3.4.1 Estudio de experimentos similares para determinar las variables que influyen en la sintetización de las resinas fenólicas tipo resol.....	66
3.4.2 Determinación e implementación de la metodología del experimento según la tecnología seleccionada anteriormente.....	

3.4.3	<i>Recopilación y análisis de los resultados experimentales.....</i>	67
3.4.4	<i>Evaluación del producto con el patrón establecido como referencia en el objetivo 1.....</i>	67
3.5	<i>Escalamiento piloto de la producción de resinas con el objetivo de evaluar el comportamiento de la resina como producto final.....</i>	68
3.6	<i>Diseñar los equipos necesarios para la elaboración de la resina a escala industrial con la finalidad de satisfacer los requerimientos del mercado.....</i>	70
3.6.1	<i>Procedimiento de diseño del condensador.....</i>	71
3.6.2	<i>Procedimiento de diseño de la bomba de vacío.....</i>	73
3.6.3	<i>Procedimiento de diseño del agitador.....</i>	74
3.7	<i>Estudiar la factibilidad técnico-económica para estimar la rentabilidad del proyecto .....</i>	75
3.7.1	<i>Ingresos.....</i>	75
3.7.1.1	<i>Ventas.....</i>	76
3.7.2	<i>Egresos.....</i>	76
3.7.2.1	<i>Inversión.....</i>	76
3.7.2.2	<i>Costos de Producción.....</i>	79
3.7.2.3	<i>Impuesto Sobre La Renta (I.S.L.R).....</i>	82
3.7.3	<i>Indicadores Económicos.....</i>	83
<b>Capitulo IV. Análisis de resultados</b>		<b>84</b>
4.1	<i>Caracterización de la resina fenólica tipo resol a fin de conocer sus parámetros físico-químicos.....</i>	84
4.2	<i>Análisis del mercado actual referido al consumo nacional de resinas fenólicas tipo resol con la finalidad de estimar el tamaño de la línea de producción.....</i>	85
4.3	<i>Análisis de la tecnología existente con el propósito de seleccionar la que mejor se adapte al requerimiento en planta.....</i>	87
4.4	<i>Realización de los ensayos experimentales variando los parámetros de operación para mejorar el proceso de producción de resinas.....</i>	93



4.5 Escalamiento piloto de la producción de resinas fenólicas tipo resol con el objetivo de evaluar su comportamiento como producto final.....	99
4.6 Diseño de los equipos necesarios para la elaboración de la resina fenólica tipo resol a escala industrial con la finalidad de satisfacer los requerimientos del mercado .....	103
4.6.1 Reactor.....	103
4.6.2 Condensador.....	104
4.6.3 Agitador.....	109
4.6.4 Bomba de Vacío .....	110
4.6.5 Serpentín interno.....	113
4.7 Estudio de la factibilidad técnico-económica para estimar la rentabilidad del proyecto .....	114
Conclusiones.....	126
Recomendaciones.....	128
Bibliografía.....	130
Apéndice A Hojas de seguridad y toxicología de las materias primas.....	132
Apéndice B Determinación de las propiedades físico – químicas de las resinas fenólicas.....	142
Apéndice C Datos de la empresa.....	152
Apéndice D Hojas técnicas de las resinas fenólicas a escala de laboratorio.....	156
Apéndice E Hojas técnicas de las resinas fenólicas a escala piloto.....	160
Apéndice F Tablas y figuras.....	164
Apéndice G Cálculos típicos.....	172
Apéndice H Hojas de especificaciones.....	186
Apéndice I Modelos financieros.....	191
Anexos.....	203

**INDICE DE TABLAS**

CONTENIDO .....	Pag
Tabla 3.1	
Propiedades físicas y químicas de la muestra.....	58
Tabla 4.1	
Propiedades físicas y químicas de la muestra.....	85
Tabla 4.2	
Estimación de la producción de resinas fenólicas tipo resol para una proyección de 10 años.....	87
Tabla 4.3	
Matriz de selección del proceso de producción.....	91
Tabla 4.4	
Propiedades físicas y químicas de los lotes preparados a escala de laboratorio.	97
Tabla 4.5	
Propiedades físicas y químicas de los lotes preparados a escala piloto.....	101
Tabla 4.6	
Parámetros físicos químicos de la resina fenólica tipo resol de Resinas Múltiples	102
Tabla 4.7	
Dimensiones del reactor.....	104
Tabla 4.8	
Temperaturas de salida del condensador .....	107
Tabla 4.9	
Dimensiones del condensador.....	108
Tabla 4.10	
Dimensiones del agitador.....	110
Tabla 4.11	
Dimensiones de la bomba de vacío .....	112
Tabla 4.12	
Especificaciones del serpentín interno.....	113
Tabla 4.13	
Flujo de caja de la producción de resinas fenólicas tipo resol.....	115

Tabla 4.14	
Ingresos.....	116
Tabla 4.15	
Costos fijos.....	118
Tabla 4.16	
Capital de trabajo.....	119
Tabla 4.17	
Capital de producción.....	120
Tabla 4.18	
Valor presente neto.....	123
Tabla A.1	
Hoja de especificaciones del fenol	133
$C_6H_6O/C_6H_5OH$ .....	
Tabla A.2	136
Hoja de especificaciones del formaldehído ( $CH_2O$ )n.....	
Tabla B.1.	144
Patrones para la determinación de materias no volátiles.....	
Tabla B.2.	148
Temperatura vs. Reactivos para el baño termostatazo.....	
Tabla B.3.	
Factores del viscosímetro de brookfield según el spin y la velocidad seleccionada.....	149
Tabla C.2	153
Demanda de resinas fenólicas tipo resol.....	
Tabla F.1	
Coefficientes globales de transferencia de calor típicos en los intercambiadores de calor.....	165
Tabla F.2	166
Constante para un flujo sobre un banco de tubos de 10 o mas líneas.....	
Tabla F.3	166
Factor de corrección para $N_L < 10$ .....	

<i>Tabla F.4</i>	167
<i>Conteo de tubos.....</i>	
<i>Tabla F.5</i>	171
<i>Dimensiones del agitador.....</i>	
<i>Tabla F.6</i>	271
<i>Rangos de potencia sugeridos según el nivel de agitación.....</i>	
<i>Tabla I.1</i>	199
<i>Gastos generales.....</i>	
<i>Tabla I.2</i>	200
<i>Préstamo.....</i>	
<i>Tabla I.3</i>	201
<i>Impuestos sobre la renta.....</i>	
<i>Tabla I.4</i>	202
<i>Tasa de sustraendo.....</i>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1.</i>	
<i>Formación de los alcoholes fenólicos.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.2.</i>	
<i>Clasificación de las Resinas Fenólicas.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.3.</i>	
<i>Estructura molecular de una Resina Fenólica Novalaca.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.4</i>	
<i>Reacción de curado de la Resina Novalaca con Hexametilentetramina.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.5.</i>	
<i>Estructura típica de una Resina Fenólica tipo Resol.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.6.</i>	
<i>Esquema fundamental de las Resinas Fenólicas.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.7.</i>	
<i>Diagrama de flujo de una línea de producción de Resinas Fenólicas por policondensación al vacío</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2.8</i>	
<i>Diagrama de producción de Resinas Fenólicas con aprovechamiento térmico.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.9</i>	
<i>Sistema dowterm.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.10</i>	
<i>Diagrama de flujo de producción de Resinas Fenólicas mediante un sistema continuo.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2.11</i>	
<i>Dimensiones del reactor y el agitador.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3.1</i>	
<i>Flujograma con la metodología de diseño del condensador.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.2</i>	
<i>Flujograma con la metodología de la bomba de vacío.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 3.3</i>	
<i>Flujograma con la metodología de diseño del agitador.....</i>	<i>74</i>

<i>Figura 4.1</i>	
<i>Producción nacional e importaciones de la última década de resinas fenólicas tipo resol.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 4.2</i>	
<i>Sistema de reacción del laboratorio.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 4.3</i>	
<i>Resina fenólica tipo resol.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 4.4</i>	
<i>Flujo de caja para el tiempo de vida del proyecto.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura F.1</i>	
<i>Factor de potencia.....</i>	<i>170</i>

## INTRODUCCIÓN

Las resinas fenólicas actualmente presentan una amplia gama de aplicaciones tales como abrasivos, espumantes, deshidratantes, etc; además su incorporación en la fabricación de fibras naturales y sintéticas así como una mejora en el reciclado y reutilización de las fibras textiles.

El presente trabajo pertenece al área de las resinas fenólicas tipo resol y se centra en el análisis y estudio de la implementación de una nueva línea de producción de la resina antes mencionada.

La metodología a aplicar para alcanzar cada uno de los objetivos planteados en la investigación está compuesta de siete etapas, en donde la primera requiere la evaluación de las características y propiedades de la Resinas Fenólicas tipo Resol, para ello se realiza una revisión bibliográfica de segunda mano en donde se realizan los ensayos de laboratorio y determinar los aspectos físicos y químicos que la caracterizan para luego ser establecida como muestra patrón.

En la segunda etapa, se realiza el análisis del mercado nacional de Resinas Fenólicas tipo Resol, mediante la estimación de la demanda insatisfecha y la oferta nacional de la misma, proyectando estos valores, se obtiene la demanda total del producto para los años futuros.

En la tercera fase, se procede a analizar las tecnologías que actualmente existen para la producción de resinas fenólicas tipo resol y mediante herramientas de selección se pretende examinar cuál de éstas es la que mejor se adapta a los requerimientos en planta y así garantizar un proceso efectivo.

En la cuarta fase, se llevan a cabo una serie de análisis a nivel de laboratorio en la planta de estudio, en donde se varían en una forma sistemática con el fin de determinar los parámetros de operación de la Resina Fenólica tipo Resol que más favorecen o no la elaboración de la misma, tomando en cuenta como producto patrón el proporcionado por la empresa patrocinante.

En una quinta fase y tomando en cuenta los resultados obtenidos en la etapa anterior, se realiza un escalamiento de la Resina Fenólica tipo Resol a nivel de planta piloto para estudiar los parámetros del aprovechamiento térmico de la reacción y alcanzar un perfeccionamiento de la misma antes de su proyección a nivel industrial.

En la sexta etapa, se analizan detalladamente y considerando la tecnología escogida anteriormente, los equipos necesarios para llevar a cabo la elaboración del producto, para realizar su posterior diseño tomando en cuenta materias primas y la demanda total estimada con anterioridad.

Finalmente, se realiza la evaluación económica para analizar la factibilidad del proyecto, se hace uso de indicadores económicos con el objetivo de obtener la relación costo - beneficio del producto final.

El trabajo de investigación está estructurado por cinco capítulos; donde en el primer capítulo se detalla el planteamiento del problema; en el segundo, los fundamentos teóricos, antecedentes de este trabajo y los conceptos necesarios para el mejor entendimiento de la investigación. El tercer capítulo explica la metodología a seguir para el cumplimiento de los objetivos propuestos. El cuarto capítulo contiene el análisis de los resultados, tanto de la caracterización de la Resina como los aspectos importantes tomados en cuenta para el diseño de los equipos. El quinto capítulo, muestra la evaluación económica, donde se establece la factibilidad del proyecto y a demás que se evidencia un análisis de sensibilidad del mismo.

El aporte de este proyecto de investigación se enfoca en ofrecer a la empresa la posibilidad de incrementar su nivel de producción con la implementación de una nueva línea de Resina Fenólica tipo Resol reduciendo de alguna manera la demanda insatisfecha que actualmente está presente en el país .





## CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

*En esta sección se plantea el problema a evaluar orientándolo desde su situación actual y fraguándolo hasta la situación deseada, además se programan los objetivos que se llevarán a cabo tanto de forma general como específica. Por último se justifica y se establecen las limitaciones y alcances de esta investigación.*

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Resinas Múltiples S.A., es una empresa ubicada en la Av. Isaías Medina Angarita de la zona industrial de Cagua Edo. Aragua. Fue creada en 1990 por MAMUSA S.A., dedicada a la fabricación de productos de fricción moldeados, extrusionados, tejidos, comprimidos en materiales de amianto, no amianto, orgánicos y semimetálicos en variados coeficientes de fricción para aplicaciones industriales y automotrices, así como también polímetros de SBR y NBR y gomas enlazantes. Muchos de estos productos son elaborados a partir de resinas fenólicas. Debido a varias problemáticas con proveedores y específicamente con la calidad de algunas materias primas, se inicia el proyecto de instalación de una planta de producción de resinas fenólicas. Actualmente opera bajo el nombre RESINAS MULTIPLES, S.A. y maneja más de diez tipos de resinas diferentes, predestinadas entre otras cosas a satisfacer los requerimientos internos de la empresa y la posibilidad de la incursión de un nuevo producto en el mercado.

Las resinas fenólicas, conocidas también como fenoplásticos o resinas de alquitrán de hulla, comprenden las resinas y plásticos fabricados con fenoles y aldehídos. Los fenoles sintéticos o derivados de alquitrán de hulla, son principalmente el propio fenol, cresol, xilenol y resorcinol. Las resinas de fenol-formaldehído, son las más abundantes del grupo de las resinas fenólicas, pero también se incluyen en él las resinas fenol-furfural, resorcinol-formaldehído y otras similares. Además se incluyen las resinas modificadas, en particular las que contienen resinas naturales como colofonia y

sus ésteres. Las resinas fenólicas tipo resol conocidas comúnmente con el nombre de bakelita, son el producto de la policondensación entre el fenol y el formaldehído, en presencia de un catalizador de naturaleza alcalina. Estos polímeros se encuentran dentro del grupo plásticos termoestables, es decir, son moldeables al calentarse solo por primera vez, después de enfriarse no pueden recuperarse para transformaciones posteriores.

Se debe tomar en cuenta que de la gran variedad de resinas fenólicas las del tipo resol son muy utilizadas en la industria de adhesivos, abrasivos, aislantes, tintas, fundición, laminación, madera y frenos. Las resinas fenólicas se forman por policondensación de los alquiflenoles como por ejemplo el nonílfenol, octílfenol, y dodecílfenol, estos son utilizados como estabilizadores de la reacción.

En la empresa, las resinas fenólicas son utilizadas para la formación de materiales de fricción en general, gomas enlazantes, lacas y adhesivos, lanas minerales, espumas y toda una variedad de productos que poseen componentes sometidos a la fricción tales como frenos, embragues, transmisiones, los cuales son importantes en la industria de automoción.

La resina fenólica del tipo resol es una de las materias primas utilizadas en las líneas de producción de RESINAS MÚLTIPLES S.A, sin embargo, la adquisición de resoles se ha convertido en un problema para la organización, principalmente porque la oferta nacional no es suficiente y además a la dificultad que representan las importaciones, ha hecho que los resoles sean una materia prima escasa. Por otra parte el proveedor principal no ha cumplido con los pedidos, ya que estos no llegan a tiempo y en algunos lotes se han encontrado resoles con características fuera de especificaciones.

Además las importaciones de resoles se ven limitadas porque el tiempo de vida útil antes de procesar es muy bajo, es decir la resina no puede soportar un largo

período de tiempo en almacén, esto se debe a que la policondensación de la resina se sigue llevando a cabo a temperatura ambiente lo que se traduce en un aumento descontrolado de la viscosidad. Si la viscosidad es muy alta, la resina se gelaría y como es un termoplástico no se podría fundir y recuperar para su posterior procesamiento.

Por lo anteriormente expuesto, la empresa está considerando el hecho de crear una planta productora de resinas fenólicas, empleando como materia prima en este proceso, compuestos que están a su alcance y tienen un valor monetario menor al que se quiere producir. Esto es, crear la resina a partir del fenol y del formaldehído, a fin de disminuir los costos de dicho producto intermedio, aumentar sus ganancias, y presentar un nuevo producto al mercado que puede ser usado por otras empresas del país en sus procesos.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente la empresa Resinas Múltiples S.A., invierte una gran cantidad de dinero anual en la compra de resinas fenólicas para usarlo como producto intermedio en la producción interna, y dada la deficiencia de suplemento de resoles la organización ha perdido varias inversiones además de un aumento en los gastos de producción, lo que indica que los precios de los productos fabricados aumentan significativamente al igual que el costo total de producción. Por esto, la empresa quiere evaluar la posibilidad de crear una planta de producción de resinas fenólicas tipo resol, a partir del fenol y del formaldehído como materia prima, los cuales pueden ser obtenidos por la empresa a nivel nacional, y así disminuir costos garantizando un alto nivel de calidad.

### **1.2.1. Situación Actual**

Las resinas fenólicas tipo resol poseen un gran mercado ya que son ampliamente utilizadas como materia prima en diferentes procesos industriales, sin

embargo, la oferta del producto no satisface las exigencias del cliente. Siguiendo la directriz de crecimiento industrial a nivel nacional, dentro de Resinas Múltiples S.A. se genera la inquietud de la ampliación, con la implementación de nuevas tecnologías hacia la penetración de nuevos productos, donde las resinas fenólicas tipo resol representan una opción atrayente con fines de mejoras financieras de la organización.

### **1.2.2. Situación Deseada**

Incluir una línea de producción de resinas fenolicas tipo resol, realizando previamente una evaluación técnica y económica para su fabricación, con la finalidad de establecer las estrategias adecuadas para su ejecución, considerando tres etapas fundamentales, la primera contempla el desarrollo del producto a escala de laboratorio, la segunda el desarrollo del producto a escala piloto y por último el dimensionamiento de los equipos necesarios para instalar la planta a escala industrial.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la factibilidad técnico-económica de una planta de producción de resinas fenólicas (tipo resol) en resinas múltiples S.A. con la propósito de desarrollar una nueva línea de producción.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- 1.- Caracterizar la resina fenólica tipo resol a fin de conocer sus parámetros físico-químicos.
- 2.- Analizar el mercado actual referido al consumo nacional de resoles con la finalidad de estimar el tamaño de la línea de producción.
- 3.- Analizar la tecnología existente con el propósito de seleccionar la que mejor se adapte al requerimiento en planta.

- 4.- Realizar ensayos experimentales variando los parámetros de operación para mejorar el proceso de producción de resinas.
- 5.- Escalamiento de la Resina Fenólica tipo Resol a fin de evaluar su comportamiento como producto final.
- 6.- Diseñar los equipos necesarios para la elaboración de la resina a escala industrial con la finalidad de satisfacer los requerimientos del mercado.
- 7.- Estudiar la factibilidad técnico-económica para estimar la rentabilidad del proyecto.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

En los momentos actuales, dado el auge tecnológico, los avances científicos y a un mercado laboral más competitivo, los ingenieros químicos deben ser profesionales versátiles, capaces de adaptarse a la tendencia de crecimiento del mercado industrial, no sólo a nivel nacional sino internacional. Por lo que durante la formación académica se debe brindar las herramientas necesarias para ser capaces de enfrentar cualquier situación que se le presente en el campo laboral, siendo de gran importancia la generación de nuevas ideas de crecimiento y mejora industrial. El desarrollo de un proyecto con las dimensiones que se aplican en esta investigación le genera a los autores otra herramienta para el crecimiento personal.

Un buen resultado de la evaluación técnico-económica de un proceso depende de varios factores que permitan profundizar la relación inversión-ganancia, para que de esta forma el desarrollo de una nueva tecnología traiga beneficios factibles para la industria, y la producción de resinas fenólicas no se excluye de este hecho, por lo que se hace necesario determinar estos factores y su influencia, para así evaluar de una manera más detallada dicho proceso. Mediante esta investigación se aplicarán las herramientas metodológicas indispensables para el profesional de la ingeniería, proporcionándole así los medios más idóneos para el logro de los objetivos planteados.

El beneficio que esta investigación le presta a la empresa el poseer datos confiables para tomar decisiones al momento de desarrollar la planta productora de resinas fenólicas y tratar de cumplir con los requerimientos de las normativas ambientales. Adicionalmente se hará un aporte a la sociedad a mediano plazo, ya que en caso de que se alcance la instalación de la planta, se generaría un número significativo de empleos.

## **1.5. LIMITACIONES**

Esta investigación se basa en la evaluación técnico-económica de una planta de producción de resinas fenolicas tipo resol, proporcionando una serie de parámetros de fabricación adquiridas experimentalmente a nivel de laboratorio y un escalamiento tipo planta piloto, el factor tiempo es determinante en la culminación de todas los objetivos propuestos, lo que representa una limitación a la hora de realizar los estudios experimentales ya que estos deben ser concretos para así evitar un largo periodo de tiempo en la realización de los mismos.

Este estudio se limitó a la producción de resinas fenólicas tipo resol sólo a partir del fenol y el formaldehído, ya que es la materia prima establecida por la empresa, por lo tanto la opción de estudiar otras materias primas para buscar un mejor rendimiento no es viable.

Otra limitante es la poca información de la tecnología utilizada en procesos similares, por lo que es necesaria una intensa fase experimental, sumando el factor económico y la dificultad de la negociación con divisas extranjeras.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

*En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos que rigen el desarrollo de la investigación, basándose en investigaciones precedentes y en las características principales del proceso de producción de Resinas Fenólicas del Tipo Resol.*

### 2.1 ANTECEDENTES

**En el año 2005, Arzate Carmen estudió de la factibilidad técnica y económica de la instalación de un taller para elaborar cerámica usando como materia prima residuos industriales,** en la universidad de las Américas, escuela de Ingeniería departamento de Ingeniería Química y alimentos, Puebla (México).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la factibilidad técnica y económica para la instalación de un taller de cerámica en donde se utilizó como materia prima arena sílice ya no empleada por la industria Rassini frenos, de esta forma los artesanos tendrían una opción para generar materiales con valor comercial.

Se caracterizó dicha arena y se empleó como parte de la materia prima para formar cerámica; la cual se agregó una mezcla base (arcilla gruesa 12%, arcilla amarilla 50% y barro 12%), la composición de la mezcla total fue de 85% mezcla base y 15% arena sílice a las cuales se le realizaron pruebas de humedad, granulometría y plasticidad. El beneficio fue doble, por una parte existió una colaboración para disminuir la cantidad de residuos a confinar, y por otro lado, se disminuyeron los costos de fabricación de productos artesanales.

La analogía entre ambas indagaciones se basa en que las dos tratan de analizar la relación inversión/ganancia en el período de diseño de una planta, y difieren en la metodología de trabajo ya que no plantean un escalamiento ni en fase experimental ni en planta piloto, sumado a esto es el tipo de producto que se obtiene en ambos casos.



**En el año 2005, Santana Marcos, Baumann Melissa y Conner Anthony, analizaron la producción de resinas adhesivas de fenol – formaldehído, utilizando una mezcla de fenol y la corteza licuada del zarzo negro, en el Laboratorio de Productos Florestais, (Brasilia--DF, Brazil) y Forest Products Laboratory (Madison USA).**

El objetivo de esta investigación fue utilizar el tanino de la corteza del zarzo como reemplazo del fenol en pegamentos del fenol-formaldehído llevada a cabo en Brasil, Sudáfrica y Australia.

En este estudio, la corteza entera y la corteza sin tanino del zarzo negro se licuaron con fenol en presencia del catalizador ácido sulfúrico. Las soluciones resultantes reaccionaron con formalina en solución básica. Las resinas de resol de la producción contienen un 33% del fenol substituido por la corteza licuada. En la prueba donde se utilizaron las resinas como adhesivos, las que contenían corteza licuada tuvieron mejores resultados que las resinas de fenol-formaldehído que se encuentran comercialmente. Sin embargo, este proceso requirió la extracción del tanino de la corteza antes de la síntesis de la resina la cual produjo la corteza sin tanino que no tiene ningún uso. Además, las resinas producidas del tanino resultaron absolutamente reactivas, así teniendo un tiempo de almacenamiento muy corto y una vida útil insignificante.

Dicha investigación se asemeja en el hecho de que se concentra en la producción de resinas fenolicas del tipo resol, con la diferencia de que utilizan como materia prima una mezcla de fenol con corteza de zarzo licuada que reacciona con el formaldehído en presencia del ácido sulfúrico como catalizador.

**En el año 2005, Díaz Gabriela y Montesinos Ricardo, Mejoraron el proceso de fabricación de una emulsión de resina Epóxica para la elaboración de Productos especiales, en el área de la construcción y mantenimiento industrial, en la Universidad de Carabobo.**

---

Esta investigación tuvo como objetivo principal mejorar el proceso de fabricación de una emulsión de resina epóxica la cual sirvió de base para la elaboración de productos especiales para el área de la construcción y mantenimiento industrial.

Con ésta investigación se logró reducir el tiempo de manufactura de la emulsión y una excelente estabilidad en las condiciones de la misma.

El presente trabajo posee una similitud a la investigación que se plantea debido a que la producción de la resina epóxica se realiza por medio de un proceso semejante al de la producción de resinas fenólicas, además de profundizar el estudio de las variables involucradas en el proceso.

La diferencia fundamental es el enfoque de la investigación, ya que ellos plantean la optimización de un proceso ya existente, mientras que en esta investigación se esquematiza el proceso, además de que el producto deseado es una emulsión de resina epóxica y en este caso se busca la obtención de una resina fenólica.

**En el año 2004, Serrano Rincón, A., Zavala Calva, M Realizaron la operación de una planta piloto de endulzamiento de gas natural,** en el Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas, Puebla (México).

El aporte de este trabajo fue hacer que la planta piloto de endulzamiento operara de forma continua e identificar los principales problemas existentes en el manejo de la misma.

Se obtuvieron buenos resultados en la absorción pero ninguno en la desorción, así como el diseño de los intercambiadores de calor que dieron la solución a este problema y con los cuales se alcanzaron mejores resultados en ambas partes del

proceso y en la operación general de la planta. El presente trabajo de tesis fue parte de un proyecto realizado en conjunto entre la Universidad de las Américas –Puebla y el Instituto Mexicano del Petróleo y estuvo principalmente enfocado en la operación de una planta piloto de endulzamiento de gas natural.

La semejanza entre ambas investigaciones se basa en que ambos plantearon el objetivo común de la instalación de la planta piloto, pasando por una primera etapa experimental en el laboratorio. En contraste ellos buscaban procesar el endulzamiento del gas natural, en cuanto que esta investigación se centra en la elaboración de resinas fenolicas.

**En el año 2004, Lorenz Linda y Christiansen Alfred, Analizaron las Interacciones de la alcalinidad y el contenido de agua de las resinas fenolicas en el proceso de curado, en el Laboratorio de los Productos de Bosque, Wisconsin (USA)**

El objetivo del presente trabajo abarcó el estudio de los factores que afectan el proceso de curado de una resina fenólica tipo resol, a la cual se le estudiaron las características físicas de la misma.

Se realizó un barrido experimental cambiando las concentraciones del fenol. La metodología experimental que se utilizó en el Laboratorio de Productos del Bosque sirvió de modelo para plantear parte del proceso experimental utilizado en esta investigación, el índice de la curación del resol provino del fenol-formaldehído (PF), donde las resinas fueron afectadas por la formulación, el procedimiento de la síntesis, los catalizadores, y los añadidos especializados que formaron una resina específica, aún cuando los varios tipos de resinas fenolicas se curaron bajo condiciones ambientales idénticas.

La similitud de esta investigación radica en que los autores realizaron un estudio de las características físicas de la resinas para un tratamiento de curado posterior, a

diferencia de que sólo se buscaba caracterizar la resina para implementar la mejor síntesis de producción.

**En el año 2003, Goberna Selma, Consuelo, Analizaron el riesgo y la operabilidad (mediante hazop) de plantas de proceso a escala piloto: aplicación a una planta de extracción en condiciones supercríticas,** en la Universidad Autónoma de Madrid, Centro de Lectura Facultad de Ciencias, Centro de Realización Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC). Madrid.

El siguiente trabajo de tesis tuvo como objetivo llevar a cabo un análisis de posibles riesgos y estudiar la operabilidad de una planta piloto, aplicando el método HAZOP, para extracción en condiciones supercríticas.

Con este procedimiento se logró aumentar la seguridad de la planta piloto, eliminando o al menos paliando en la medida de lo posible los riesgos inherentes en la misma para un proceso que opera a elevadas presiones, en donde se logró mejorar el tiempo de operabilidad de la planta mediante la aplicación del método HAZOP.

Ambas investigaciones plantean la implantación de una planta a escala piloto y difieren en el hecho de que ellos analizan los riesgos que se pueden presentar si se trabaja en condiciones supercríticas a elevadas presiones.

**En el año 2003, Acosta Heidy y Sánchez Judith, Analizaron la Factibilidad técnico-económica del diseño de una red de gas doméstico para la zona de Naguanagua,** en la Universidad de Carabobo.

El objetivo de esta investigación fue establecer el diseño de una red de gas doméstico y realizar un estudio técnico económico con la intención de evaluar la factibilidad de implementación de la red de una zona de Naguanagua, específicamente en la Urbanización Las Quintas de Naguanagua etapa I.

Se obtuvo un buen índice económico, la cual garantizó la rentabilidad del proyecto. Las semejanzas entre dichas investigaciones se encuentran en que ambas enfocan el estudio técnico-económico para el análisis de la factibilidad de un proyecto y difieren en el tipo de producto producido.

**En el año 2003, Contreras Reina, Realizó una evaluación técnico económica de la reutilización de las aguas clarificadas del tratamiento secundario de una industria papelera, en la Universidad de Carabobo.**

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la factibilidad técnico económica en el proceso de reutilización del agua clarificada del tratamiento secundario con el fin de disminuir el consumo de agua fresca por toneladas métricas (TM) de papel producida.

La realización de este trabajo permitió a la empresa el conocimiento de los consumos de aguas de procesos, diagramas de la planta de tratamiento de las aguas residuales y las posibilidades de reutilización del agua coloreada y efluentes en el proceso.

Estas investigaciones poseen una gran similitud ya que ambos son basados en el diseño de procesos para la realización de una planta, que luego de una serie de estudios a la factibilidad del mismo se procederá a su implantación.

## 2.2 RESINAS FENÓLICAS

La palabra resina se refería originalmente a productos naturales de origen vegetal, tales como la resina de abeto o pino, lacas, damar, mastique, etc. En la industria de los plásticos, una resina sintética se considera que es la sustancia básica polimérica usada en la fabricación de objetos de plásticos.

Similarmente; en la industria de los acabados de superficie se considera como resina el material básico de enlace antes de que sea formulado en pintura, barniz o esmalte. La resina puede, en esta forma, considerarse como el ingrediente activo en un recubrimiento de superficie.

Para poder analizar las posibilidades de reemplazo en las resinas fenol formol de los reactivos que su nombre implica, por los taninos del extracto del quebracho y furfural respectivamente, se debe antes conocer como se originaron las resinas a partir de las dos sustancias químicas simples (fenol – formol), cuál es su estructura química, cómo se fabrican, cuáles son principales aplicaciones y como juegan en ellas las características de las materias primas, cómo se fabrican, las cantidades empleadas y los procesos de fabricación.

(Knop, A y Pilato, Louis A. “Phenolic Resins. Chemistry, Applications and Performance”, Springer-Verlag, Alemania pp. 91 (1985).

### 2.2.1. Química y producción de las Resinas Fenólicas

Las resinas fenólicas, conocidas también como fenoplásticos y resinas de alquitrán de hulla, comprenden las resinas y plásticos fabricados con fenoles y aldehídos. Los fenoles sintéticos o derivados de alquitrán de hulla, son principalmente el propio fenol, cresol, xilenol y resorcinol. Las resinas de fenol - formaldehído, son las

más abundantes del grupo de las resinas fenólicas, pero también se incluyen fenol - furfural, resorcinól que contienen resinas naturales, como colofonia y sus ésteres.

La reacción entre fenoles y aldehídos fue descrita por primera vez en Alemania en 1872 por Bayer. En 1883, se encontró que también los catalizadores alcalinos activaban esta condensación. La producción industrial de formaldehído en 1890 motivó nuevas investigaciones de las reacciones de condensación fenol - formaldehído. Hacia 1900, se inician las investigaciones hacia una posible explotación industrial de las resinas resultantes de condensaciones fenol- formaldehído, pero es en el año 1910 que aparecen las primeras resinas sintéticas fenólicas, las cuales fueron desarrolladas y patentadas por Backeland.

Knop, A y Pilato, Louis A. "Phenolic Resins. Chemistry, Aplications and Performmance", Springer-Velarg, Alemania pp. 91 (1985).

### **2.2.2. Estructura Química**

Las resinas fenólicas son productos de condensación de moléculas de fenol y formaldehído en los que el grado de unión y entrecruzamiento de los núcleos elementales y la naturaleza misma de los productos de condensación puede variar entre amplios límites.

Las resinas se polimerizan totalmente, es decir llegan al estado en que son insolubles e infusibles cuando los núcleos fenólicos y metilénicos están encadenados y entrecruzados entre sí en todas direcciones.

Lo que se busca comercialmente es producir un prepolímero, o sea una sustancia cuya reacción de condensación haya comenzado pero no esté terminada y que sólo continúe hasta la polimerización total, cuando se las someta a determinadas condiciones físico - químicas (presión, temperatura, pH, presencia de catalizadores).

Hay dos maneras principales de llegar a los productos finales de condensación a partir del fenol y del formol. Una, es por vía de las llamadas novolacas, la otra, por el camino de los resoles.

### **2.2.3. Reacción Química**

El formaldehído reacciona fácilmente con el fenol, adicionándose en las posiciones orto y/o para (la posición meta es prácticamente inactiva) produciendo mono, di y trimetilol-fenoles, que reaccionan entre sí condensando agua, mediante los siguientes medios:

Knop, A y Pilato, Louis A. "Phenolic Resins. Chemistry, Applications and Performance", Springer-Verlag, Alemania pp. 91 (1985).

#### **2.2.3.1. Metilolación**

La reacción puede ser catalizada por los ácidos o por las bases y progresa en tanto se mantenga la temperatura lo suficientemente alta, aumentando la viscosidad del líquido contenido en el reactor.

Los productos de bajo peso molecular son solubles en agua, los de peso molecular intermedio se disuelven en solventes orgánicos y los de alto peso molecular son insolubles e infusibles, por encontrarse altamente reticulados espacialmente.

La reacción entre el fenol y el formaldehído es una sustitución electrofílica del anillo aromático para formar un fenol - alcohol, los sitios en los cuales ocurre la metilolación son los de mayor densidad electrónica y estos son influenciados por la naturaleza y la posición de los sustituyentes.



El grupo hidroxilo fenolico ejerce influencia directriz orto y para. Según la cantidad de formaldehído usado, los grupos metilotes formados entrarán en el núcleo de benceno en posiciones orto y para respecto del grupo hidroxilo fenolico.

Generalmente se obtiene una distribución de fenoles monometilol, dimetilol, como se puede observar en la figura 2.1

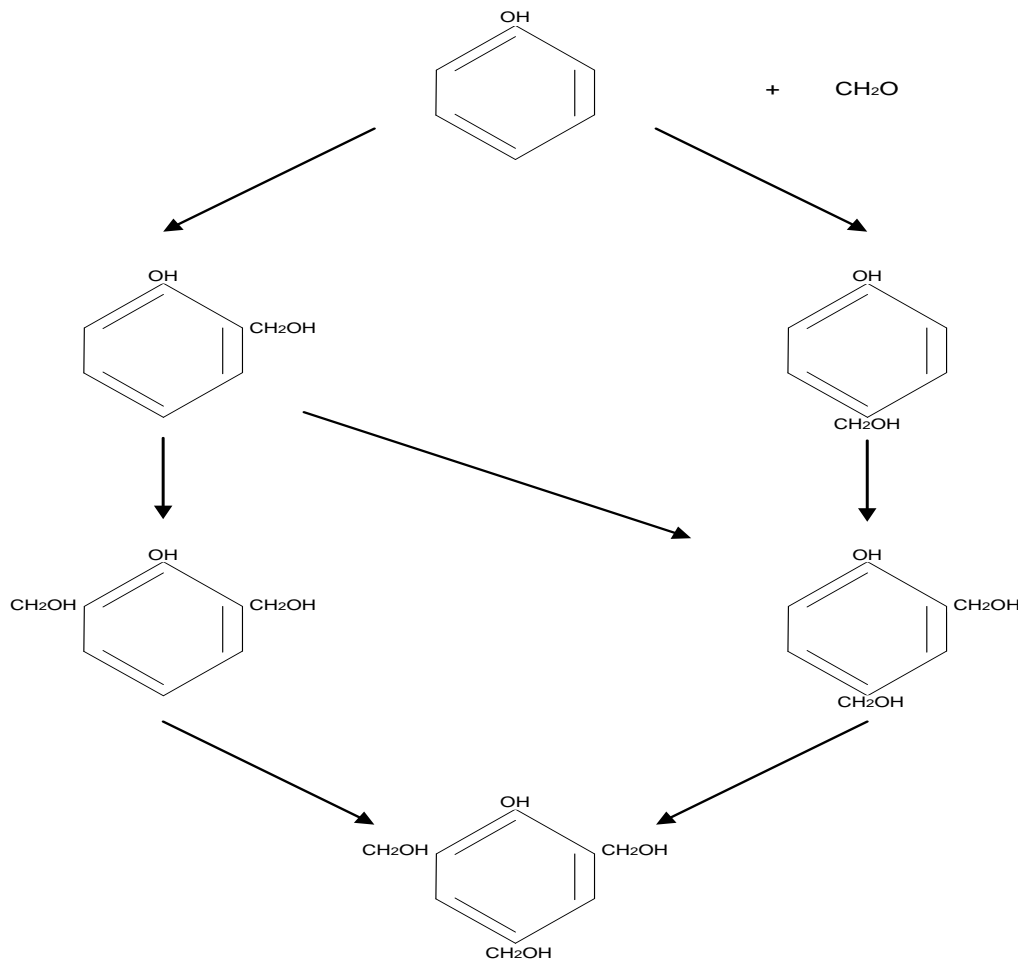


Figura 2.1. Formación de los alcoholes fenólicos

### 2.2.3.2. Condensación

Los alcoholes fenolitos (metilotes) son relativamente estables a bajas temperaturas o en pH ácido, toma lugar una reacción entre los grupos, sin embargo, a

altas temperaturas o en pH ácido, toma lugar una reacción entre los grupos metiloles vecinos para dar polímeros, formando puentes de metileno.

Dependiendo de las condiciones de la reacción, y si están presentes di y trimetilol fenoles pueden formarse cadenas muy ramificadas.

Los puentes de metileno se forman directamente de los fenoles metilotes a unos 433,15 K, por reacción con un átomo de hidrógeno orto o para, en este proceso se elimina una molécula de agua.

También se forman puentes de metileno a partir de estructuras de éter dibencilico por eliminación de un mol de formaldehído. Esta reacción ocurre a unos 403,15- 473,15 K, según el tipo de sustitución en el anillo fenolito.

El enlazamiento metilénico es mucho más estable que el puente de éter metilénico. El puente de metileno desempeña un papel importante en la estructura de resinas fenólicas y se encuentra en todas las resinas fenol - formaldehído.

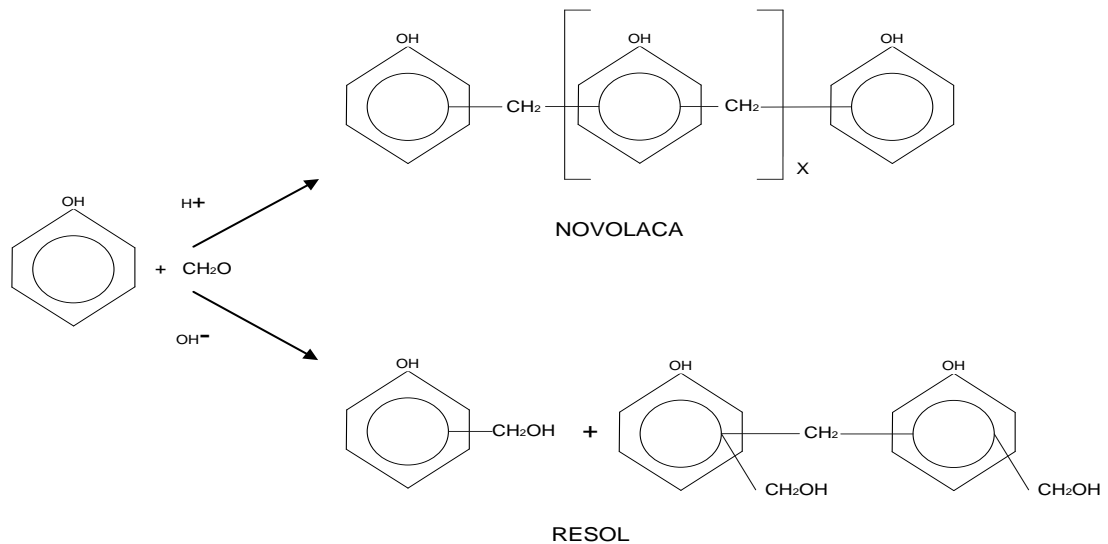
#### **2.2.4. Clasificación de Resinas Fenólicas**

Dependiendo de la relación molar de formaldehído y fenol, y de las condiciones de reacción se distinguen dos tipos de resinas fenólicas: resoles y novalacas, como se muestran en la figura 2.2

##### **2.2.4.1. Resinas Fenólicas tipo Novolaca**

Se preparan por reacción del fenol con el formaldehído, en proporciones que van de 0,6 a 0,8 moléculas de formaldehído por moléculas de fenol en medio ácido.

Se forman así orto y para metilolfenoles, que luego reaccionan con más fenol, para diferentes isómeros del dihidroxidifenilmetano según que la reacción del grupo



**Figura 2.2. Clasificación de las Resinas Fenólicas. (Bakelite., 2000).**

metilol se haga en cualquiera de las posiciones orto o en la posición para de la nueva molécula de fenol y según que reaccione un orto o un para metilolfenol.

Como la formación de metilolfenoles es lenta y la de dihidroxidifenilmetano es rápida, y como hay, defecto de formol, los grupos metilol no se acumulan como para originar estructuras entrecruzadas.

Lo máximo que sucede es que estos grupos dihidroxidifenilmetano pueden unirse lentamente hasta formar cadenas con no más de cinco o seis anillos bencénicos en cada una. Esta ausencia de grupos reactivos por su rápido consumo en su formación de cadenas lineales explica por qué estas novolacas se funden y no se polimerizan al calentarse.

Una estructura típica de una molécula de resina fenólica tipo Novalaca se muestra en la figura 2.3.

Las resinas novalacas son generalmente materiales sólidos con un punto de ablandamiento cercano a los 313.15-383.15 K y un peso molecular entre 0.25-0.90 Kg/mol. (Bakelite, 2000).

Las resinas novalacas no reaccionan por sí mismas a altas temperaturas. Son frecuentemente curadas usando hexametilentetramina, el cual forma puentes de metileno y dimetilenamino con la resina novolaca, como se puede observar en la Figura 2.3

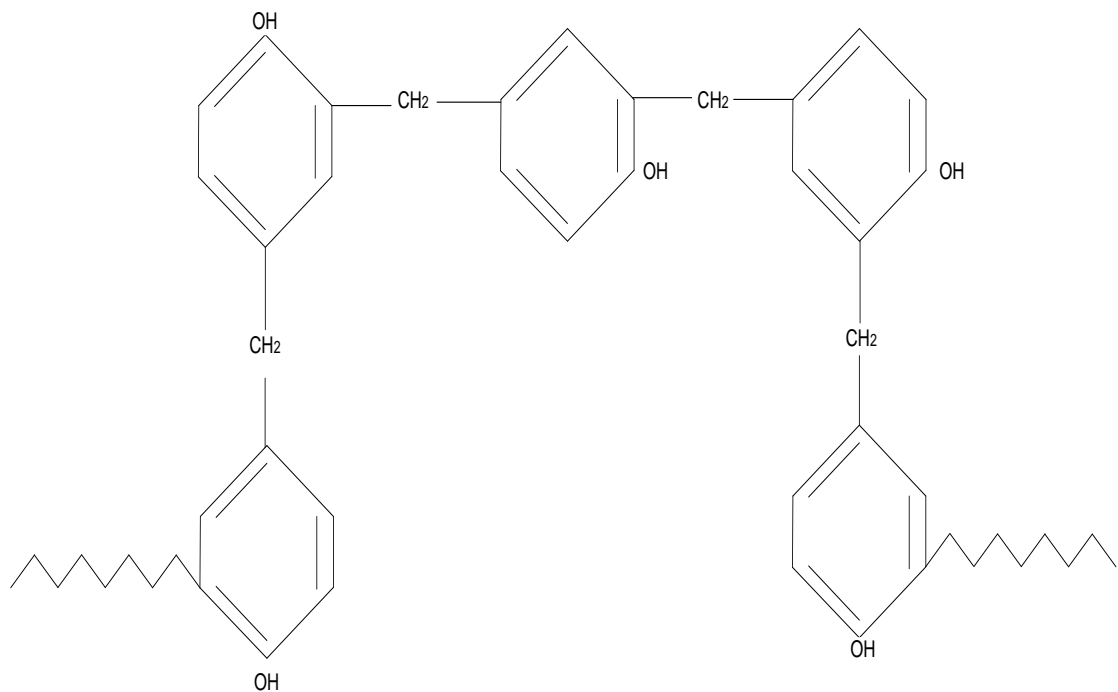
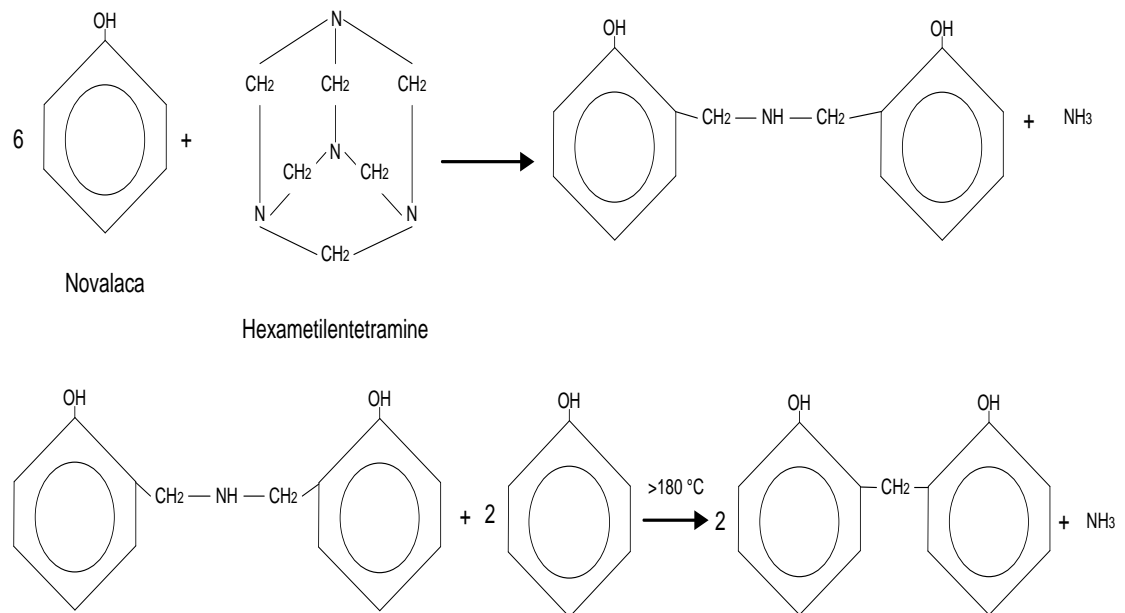


Figura 2.3. Estructura molecular de una resina fenólica Novalaca. (Bakelite., 2000).



**Figura 2.4 Reacción de curado de la resina Novalaca con hexametilentetramina. (Bakelite., 2000).**

Pero si se mezclan con compuestos capaces de proporcionar esos grupos reactivos como la hexametilentetramina o el paraformaldehido, al calentarlas se produce el entrecruzamiento y pasan a ser resinas termoestables e infusibles.

Las novolacas se consideran resinas de dos fases por el hecho de que solamente se transforman en tales agregando a la mezcla de reacción inicial compuestos generadores de grupos metilénicos reactivos.

#### 2.2.4.2. Resinas fenólicas tipo resol

A diferencia de las novolacas que se obtenían en medio ácido y exceso de fenol, se obtienen en condiciones básicas y en exceso de formol. Y la inversión produce, a su vez, una inversión en la cinética de las reacciones.

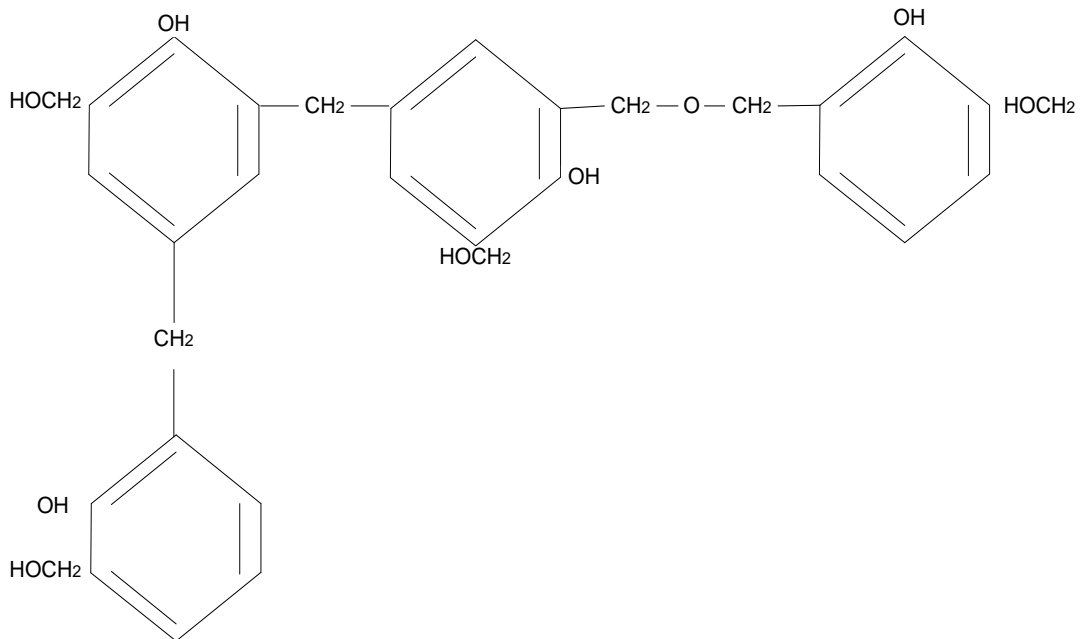
En la novolaca, la formación de fenoalcoholes era lenta y su posterior condensación en dihidroxidifenilmetanos rápida. Aquí la formación de fenoalcoholes es muy rápida y la condensación posterior lenta.

Por eso no alcanzan a formarse sólo monoalcoholes sino también polialcoholes y la posterior condensación lenta a lo sumo permitirá que dos de esos polialcoholes se unan en los resoles líquidos y no más de cuatro, en los sólidos. Pero los grupos metilol están allí listos para entrecruzarse en cuanto cambien las condiciones.

Los resoles se forman cuando el fenol y el formaldehído reaccionan en medio alcalino a una relación molar mayor o igual a uno (entre 1:1.0 y 1:1.3).

Este tipo de resina consiste en una mezcla de moléculas polinucleares unidas por puentes Metoxi o Metilenos, que contienen grupos metiloles sin reaccionar.

La figura 2.5 representa la estructura típica de una resina fenólica tipo resol



**Figura 2.5. Estructura típica de una Resina Fenólica tipo Resol. (Bakelite., 2000).**

En la condensación entre polialcoholes se presentan tanto uniones directas de un grupo de metilol de una molécula al carbono del núcleo bencénico de la otra, uniones entre dos grupos metilol a través de un puente de oxígeno.

Esta rectibilidad latente hace que también se llame a estos resoles resinas de un solo paso, pues basta modificar el pH de la mezcla inicial y calentar para que el entrecruzamiento resinificante se produzca y, con él, la termoestabilidad y la infusibilidad.

Debido a que los resoles se someten a una reacción química muy lenta a temperatura ambiente, que se manifiesta por el incremento gradual de su viscosidad, estos poseen un tiempo de almacenamiento limitado.

Los resoles son líquidos o sólidos con puntos de ablandamiento superiores a los 343,15 K. En el caso de los resoles sólidos la fracción de componentes multi- anillos incrementan el punto de ablandamiento (Bakelite, 2000).

Las resinas fenólicas pasan a través de los siguientes estados gradualmente durante el proceso de entrecruzamiento:

**Fase A.** Estado inicial; resol o novalaca. Líquido o sólido fusible y soluble.

**Fase B.** Estado intermediario; resitol. Infusible pero moldeable con calor y baja resistencia mecánica.

**Fase C.** Estado final; resita. Infusible, insoluble, alta resistencia mecánica y alta resistencia química.

El resultado del proceso de entrecruzamiento es la formación de una resita de alto peso molecular, tanto en las reacciones de curado de los resoles como de las Novolacas.

En la Figura 2.6 se puede observar el esquema fundamental de las Resinas Fenólicas, donde se especifican los productos para determinadas condiciones de reacción.

Las resinas fenólicas pueden ser modificadas en varias formas para alterar sus propiedades físicas y químicas, como por ejemplo:

1. Uso de derivados del fenol, tales como alquifenoles y Bisfenol A.
2. Eterificación del metilol o grupos hidroxifenolitos.
3. Reacción con compuestos insaturados, por ejemplo por reacción con aceites naturales.
4. Reacción con ácidos inorgánicos u otros compuestos inorgánicos.
5. Modificaciones físicas por inclusión de polímeros o gomas

### **2.2.5. Endurecimiento de Resoles y Novolacas**

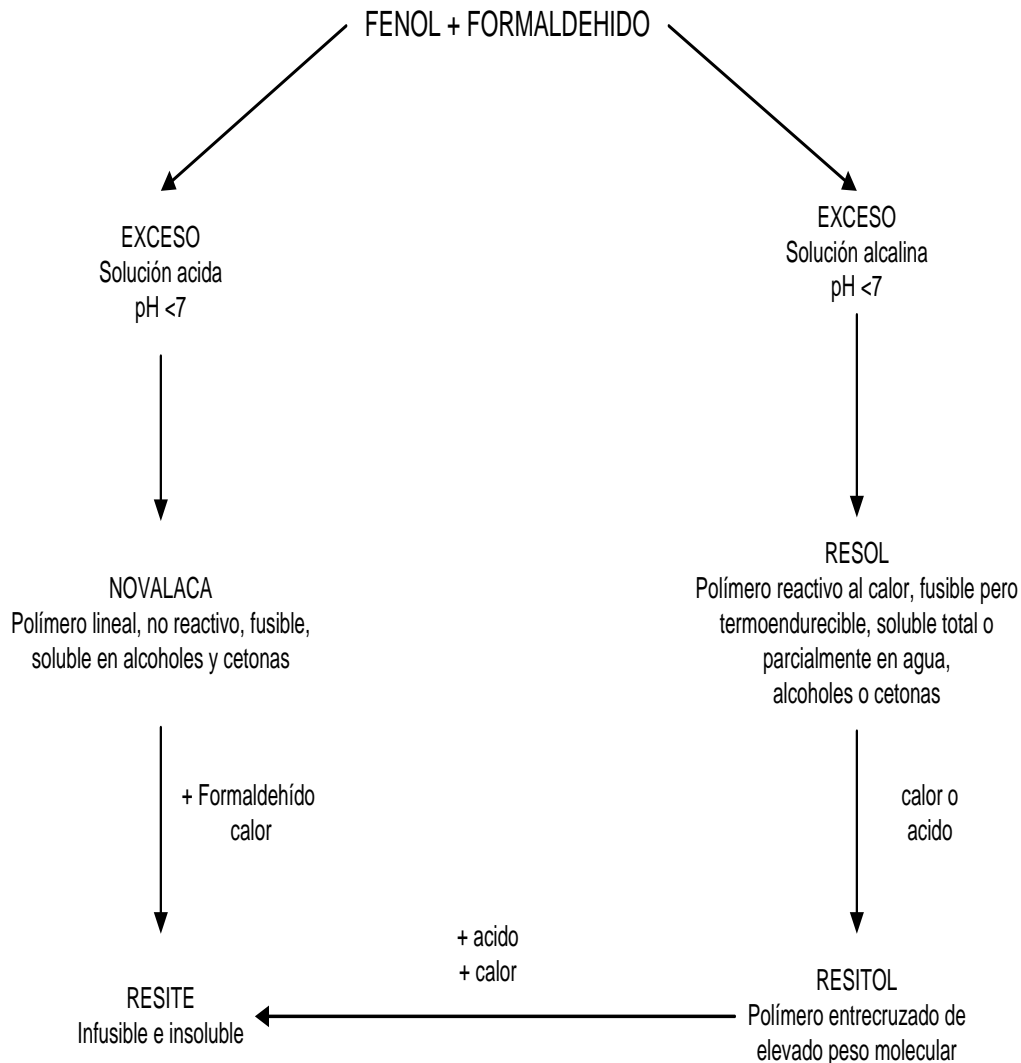
Se produce cuando los grupos reactivos libres (pre – existentes en el caso de los resoles y agregados en el caso de las novolacas) producen el entrecruzamiento a una estructura.

Como se mencionó antes, el entrecruzamiento se producirá cuando se caliente un resol o una novolaca a la que se hubiere agregado hexametilentetramina o formol,



cuando se acidifique fuertemente al medio en que se encuentre el resol (resinas de curado en frío).

A temperaturas superiores a 160 °C, empiezan a producirse otras reacciones como la formación de metilenquinonas, que dan origen a compuestos fuertemente coloreados.



**Figura 2.6. Esquema fundamental de las Resinas Fenólicas. (Bakelite., 2000).**

### 2.2.6. Fabricación de Resinas Fenólicas

Las resinas fenólicas se fabrican en procesos de uno o dos pasos. En el proceso de un paso, el fenol, el formaldehído acuoso o para formaldehído y un catalizador básico como el amoníaco o carbonato de sodio se cargan a un reactor enchaquetado de acero inoxidable.

La relación molar de formaldehído a fenol varía de 1.1 a 1.5. La mezcla se calienta a 200 F con agitación, y se permite que la polimerización proceda hasta que se forme los resoles.

La reacción es exotérmica. Después que la mayoría del formaldehído haya reaccionado, el agua se elimina por destilación al vacío, la polimerización se permite que continúe hasta que se obtenga la viscosidad deseada (grado de polimerización); las resinas entonces se mandan a recipientes abiertos si se dejan enfriar. La resina fría se muele a polvo fino, se mezcla con carga, colorantes y lubricantes, se calientan y se funde en molinos de rodillos calientes moliéndose finalmente a polvo para moldear.

Con un catalizador alcalino y con una relación de formaldehído a fenol mayor que la unidad, se pueden distinguir tres pasos no bien definidos en la polimerización. El primer paso involucra la formación de resoles, solubles en la mezcla de reacción.

El segundo paso involucra la formación de cadenas más largas conocidas como resistoles que son termoplásticos y solubles en solventes como la acetona.

El tercer paso involucra la producción de importantes uniones transversales entre las cadenas con la consiguiente formación de una resina insoluble e infusible conocida como resisto. En la fabricación comercial de resinas la polimerización siempre se detiene en la segunda parte, las uniones transversales entre moléculas se desarrollan durante el moldeo.

Las resinas de dos pasos son las que en la actualidad se usan más comúnmente en la fabricación de polvo para moldear. La condensación se lleva a cabo esencialmente en la misma forma, excepto que se usa un catalizador como ácido sulfúrico y la relación de formaldehído a fenol se reduce a 0,8:1.

La velocidad de polimerización con un catalizador ácido es más o menos tres veces mayor que cuando se usa un catalizador básico. Cuando se obtiene el peso molecular deseado, el ácido se neutraliza con cal o con carbonato de sodio y la resina se descarga y enfría.

La resina se muele, se mezcla con hexametilentetramina (fuente adicional de formaldehído) y se convierte a polvo moldeable, según lo descrito anteriormente. Las resinas fenólicas son baratas y tienen buena resistencia térmica y propiedades mecánicas.

Se usan ampliamente en el moldeo por presión o transferencia para producir diversos objetos plásticos (las resinas fenólicas son, por supuesto, termoendurecibles, ya que se desarrollan considerables uniones transversales durante el acabado de los productos), también tienen buenas propiedades dieléctricas y se usan en forma amplia en la industria electrónica.

Una cantidad importante de resinas de un solo paso se venden como solución alcohólica para laminado de papel, madera, etc. Las resinas fenólicas para vaciado pueden hacerse mediante condensación alcalina, usando una relación alta de formaldehído a fenol.

Cantidades importantes de resinas fenólicas se usan también en la fabricación de resinas intercambiadoras de iones.

Si bien la mayoría de las resinas fenólicas se fabrican usando formaldehído, también se ha usado otro tipo de aldehídos.

El único de importancia comercial es el furfural, que produce resinas de alta tensión y resistencia al impacto. Las resinas de furfural- fenol tienen aplicaciones limitadas en el moldeo de partes de gabinete de televisión, cajas para baterías, etc.

También pueden usarse otros fenoles en la fabricación de resinas, el único de importancia es el resorcinol (m-dihidroxibenceno) el cual produce resinas que se curan con rapidez a temperaturas relativamente bajas.

### **2.2.7. Parámetros de reacción de las Resinas Fenólicas**

Las reacciones básicas de resignificación de los fenoles dependen de numerosos factores de los cuales los seis más importantes son los siguientes:

#### **2.2.7.1. Naturaleza del catalizador**

El producto de las reacciones de condensación fenol - formaldehído determinado en grado considerable por la naturaleza alcalina o ácida del catalizador, de este modo se obtienen resinas catalizadas por ácido (novalacas) y catalizadores por bases (resoles).

#### **2.2.7.2. Concentración del catalizador**

La velocidad de formación de las resinas fenólicas de catalizadores alcalinos es independiente de la concentración de iones por encima de concentraciones bajas. Por el contrario, la formación de resinas en presencia de catalizadores ácidos depende de la concentración del mismo, en este caso la velocidad de reacción es directamente proporcional a la concentración de iones hidroxilos.

### **2.2.7.3. Razón fenol- aldehído**

Las cantidades respectivas de fenol y aldehído determinan que la resina resultante sea una resina bidimensional (termoplástico) o una resina con enlaces transversales o termoendurecible. La razón fenol- aldehído deberá ser menor de la unidad para obtener una resina completamente curada.

Estudios han determinado que la velocidad de reacción es directamente proporcional a la relación molar, es decir, que al aumentar la relación fenol-formaldehído la velocidad de reacción aumenta.

### **2.2.7.4. Naturaleza química del fenol y del aldehído**

La estructura del fenol es un factor importante en la formación de resina. El número y posición de los sustituyentes en el anillo bencénico determina la facultad de curado en las resinas. La velocidad de resignificación depende del carácter y grado de la sustitución. La estructura del fenol produce un efecto considerable en la velocidad de reacción en presencia de catalizadores alcalinos; pero, su efecto no es grande en medio ácido.

### **2.2.7.5. Temperatura y tiempo de reacción**

El control de ambos factores es necesario para asegurar la uniformidad de las propiedades físicas y químicas de los lotes de resinas producidos.

Como la reacción inicial entre fenoles y aldehídos es exotérmica, es preciso vigilar la temperatura durante la primera parte de la reacción y durante el paso de deshidratación para evitar el fraguado prematuro de la resina.

### 2.2.7.6. Agentes modificadores, rellenos y entendedores

Las propiedades de los plásticos fenolitos dependen en grado considerable de la presencia de agentes modificadores, rellenos y entendedores, pues solo una porción relativamente pequeña de resinas fenólicas se usan en estado no modificado. Los modificadores se combinan químicamente con las resinas, entre ellos están naturales, glicerol, ácidos grasos y resinas alquídicas, Los rellenos y entendedores se hallan en forma de compuestos mezclados físicamente.

Se ponen rellenos en composiciones de moldeo y en productos de laminado, y se usan entendedores en resinas y cauchos.

### 2.2.8. Producción industrial de Resinas Fenólicas

Actualmente se diferencian dos formas principales de producción de resinas, una es a través de un proceso continuo y la otra es con un proceso por carga o batch.

Debido a las diferentes especificaciones en que son pedidas las resinas en el mercado, el proceso de producción es por carga. Uno de los principales problemas del proceso de producción es el elevado calor exotérmico que se genera por efecto de la reacción, esto limita la capacidad del reactor.

La entalpía de reacción y el calor de la reacción de condensación en medio ácido y relación molar fenol: aldehído de 1:1 son respectivamente  $DH_o = 81.1$  (entalpía de reacción) kJ/mol y 82.3 k j /mol (calor de reacción), siendo éstas unas de las condiciones de operación más extremas. La generación de calor por unidad de tiempo y la temperatura pico de la reacción dependerá de las condiciones de producción y de la relación molar.

Generalmente se usa formaldehído al 30%, ya que el agua presente absorbe el calor generado por la reacción exotérmica el cual sirve para calentar el contenido del

reactor y finalmente ser eliminado como calor de evaporación. Este método sirve para evitar el riesgo de una reacción violenta; si se desea aumentar el rendimiento o reducir el consumo de energía y tiempo de destilación, se recomienda sustituir parcialmente el formaldehído acuoso por paraformaldehído, pero con esto se aumenta el riesgo de reacciones incontroladas.

El proceso de producción es fundamentalmente similar para la obtención de resinas fenólicas. Entre el proceso de producción de las resinas fenólicas novalacas y resoles solo existe una diferencia esencial y es una etapa de enfriamiento mediante un serpentín interno.

De esta forma una resina novalaca podría ser producida en un sistema de resinas fenolicas tipo resol.

Los reactores generalmente son equipados con distintos tipos de condensadores, dependiendo de los requerimientos de la resina. Los condensadores son usualmente enfriados con agua y tipo tubo y coraza, tanto verticales o inclinados horizontalmente, con condensación del vapor en los tubos.

El proceso completo de producción incluye dos etapas básicas: Etapa de condensación y Etapa de Deshidratación.

#### **2.2.8.1. Etapa de condensación**

La etapa de condensación comprende la fase inicial del proceso de producción de resinas fenólicas. En esta fase ocurre la reacción inicial de formación del polímero.

El proceso de condensación inicial consiste en añadir inicialmente la totalidad del fenol y una parte del formol requerido, según la relación molar seleccionada. Es

necesario un calentamiento inicial, el cual debe ser retirado al agregar el catalizador. Y el sistema esta en continua agitación para permitir una polimerización homogénea.

Una vez que se adiciona el catalizador la reacción de condensación da inicio, y se manifiesta por una elevación en la temperatura y por ende en la presión del sistema. El sistema debe estar en reflujo total para regresar el agua evaporada al mismo, con el objetivo de disminuir los efectos de la elevación de la temperatura. Una vez terminada la etapa de condensación es necesario retirar el exceso de agua (tanto producida como adicionada en la solución de formol) de la resina y aumentar la viscosidad hasta el valor deseado.

#### **2.2.8.2. Etapa de Deshidratación**

La etapa de deshidratación es la fase final del proceso de producción de resinas fenólicas, en esta etapa se elimina el contenido exceso de agua en la resina. Como fue explicado anteriormente el proceso de producción incluye una adición de agua para el control de la temperatura y la formación adicional de agua durante el proceso de reacción.

Para iniciar la etapa de deshidratación de la resina es necesario calentar para evaporar el agua, sin embargo este calentamiento no debe ser excesivo ya que podría causar la “gelación” de la resina. Por esta razón, el proceso de deshidratación se realiza mediante el uso de una bomba de vacío, que permite una extracción rápida y eficiente.

Durante el proceso de deshidratación se extraen muestras de resinas para medir una propiedad característica que indica que ya esta lista, para el caso de las resinas tipo novalaca se debe medir el punto de ablandamiento y para el caso de las resinas tipo resol la viscosidad. Una vez alcanzado el valor requerido de dicha propiedad el proceso ha terminado.



Las resinas fenólicas tipo novalacas son descargadas inmediatamente a una piscina para continuar con un proceso de molienda y posteriormente su empaquetado. Sin embargo las resinas fenolicas tipo resol deben ser enfriadas rápidamente y posteriormente envasadas.

### **2.2.9. Producción de resinas fenólicas tipo resol por carga**

La producción industrial de resinas fenólicas debido a las diferencias de especificaciones se lleva a cabo por carga o batch. Como se explicó anteriormente el proceso de producción de resinas fenólicas, se divide en dos etapas fundamentales, la primera que es en la cual se lleva a cabo la reacción, llamada etapa de condensación, y una posterior que es la de deshidratación.

Como la producción de resinas fenólicas por carga o batch es el más utilizado existe en la actualidad varias tecnologías de fabricación industrial de este producto, dichas tecnologías se diferencian entre ellas en las características de los equipos principales, las condiciones iniciales de la materia prima, etc. A continuación se explica las características principales de cada una de las tecnologías desarrolladas para la producción de resinas fenolicas tipos resol.

#### **2.2.9.1. Policondensación con destilación al vacío**

El principio de funcionamiento de esta tecnología se basa de igual forma en dos etapas características la primera la etapa de policondensación y la segunda la etapa de deshidratación del producto. Una temperatura exacta y el control del tiempo en cada una de las etapas es requerido. Vacío adecuado de al menos 50 mbar y temperatura del agua de enfriamiento lo más baja posible son necesarios para mantener la temperatura de la resina baja con un máximo de 60 °C un período relativo de destilación la cual es terminada cuando se obtenga el producto deseado.

La viscosidad de la resina puede ser controlada y si es necesario aplicar una post – condensación que se llevaría a cabo a no más de 70°C, posteriormente la resina es drásticamente enfriada en un cuarto de enfriamiento o cava. Frecuentemente la resina curada se adhiere a la superficie de la pared del tanque, reduciendo la transferencia de calor y prolongando el tiempo de destilación. El reactor y los equipos auxiliares deben tener, en el mejor de los casos un mantenimiento profundo luego de ciertos números de baches.

**Materias primas:**

- Fenol.
- Formaldehído.
- Catalizador básico (hidróxido de bario).
- Agua.

**Equipos:**

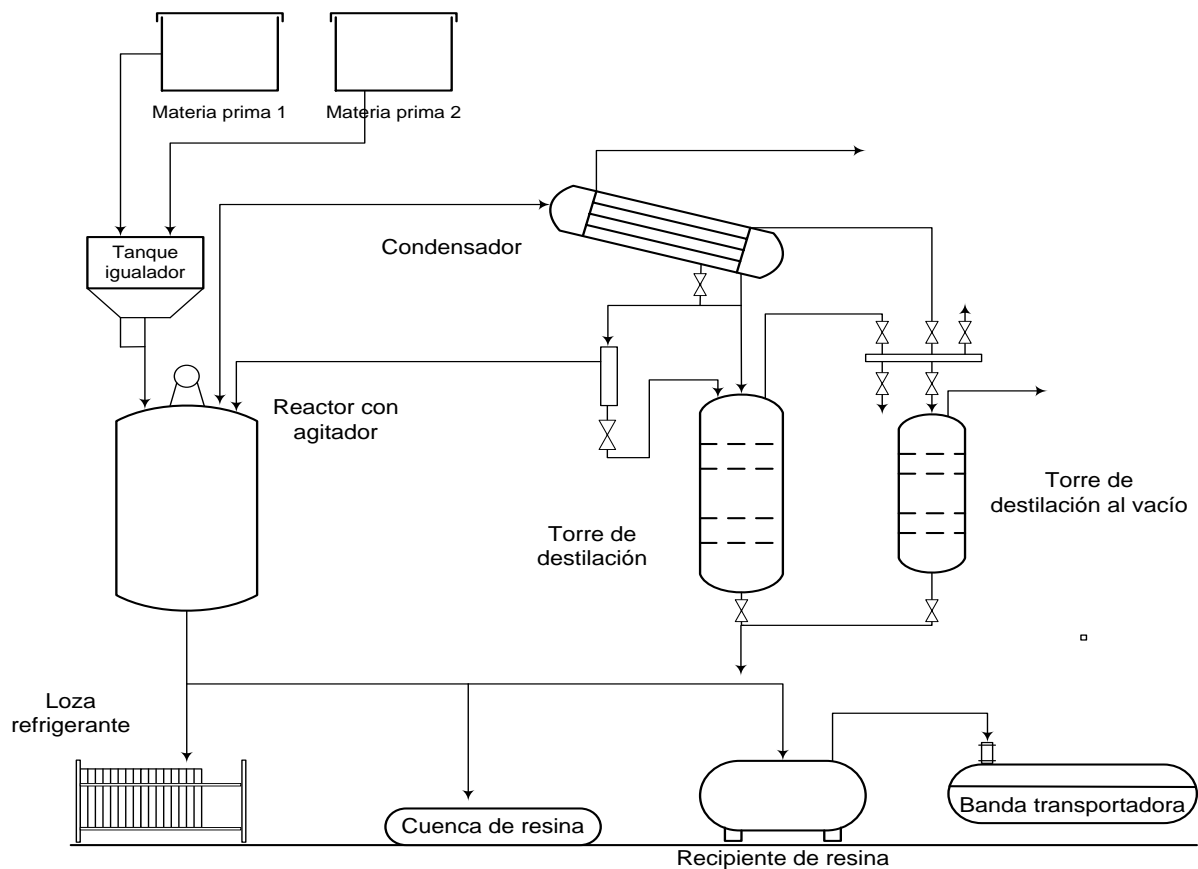
- Reactor para trabajar con vacío con serpentín interno.
- Agitador.
- Condensador con reflujo.
- Torre de destilación al vacío
- Banda transportadora.
- Bomba de vacío.
- Sistema de calentamiento.
- Válvulas, tuberías y conexiones.

**Metodología de producción:**

- Cargar al reactor el fenol, el formaldehído y el catalizador.
- Precalear la mezcla por aproximadamente 2 horas.

- Agregar el ácido sulfúrico para mantener el pH entre 6 – 7.
- Al momento de presentarse la 1ra exotérmica controlar que la temperatura no llegue por encima de los 100 °C, y mantener por 15 minutos.
- Aplicar vacío y destilar.
- Descargar la resina del reactor.
- Enfriar la resina pasándola por la banda transportadora.
- Almacenar el producto.

El diagrama de flujo del proceso de producción de Resinas Fenólicas tipo Resol mediante una etapa de policondensación por destilación al vacío, se muestra en la figura 2.7 que sigue a continuación.



**Figura 2.7. Diagrama de flujo de una línea de producción de resinas fenólicas por policondensación con destilación al vacío. (Bakelite., 2000).**

### 2.2.10.2 Producción de resinas fenólicas tipo resol mediante un sistema con aprovechamiento térmico

En el procedimiento mostrado a continuación la diferencia radica en el aprovechamiento térmico implementado, ya que se coloca el condensador a reflujo total, con la finalidad de garantizar el control de la temperatura en el medio de la reacción, además de que se le adiciona un alcohol en la etapa previa a la de calentamiento para disminuir el punto de ebullición del agua y de esta forma disminuir el calentamiento innecesario de la resina.

Para proceder con la etapa de enfriamiento se utiliza un reactor serpentín interno en caso de que el enfriamiento no sea suficiente se podría utilizar un serpentín externo.

Este procedimiento de producción debe ser llevado a cabo cuidadosamente tanto en la etapa de condensación como en la etapa de deshidratación, y se sigue el mismo procedimiento independientemente del volumen de producción, por lo que se establece que tanto en la fase de laboratorio como en la fase de escala piloto y posteriormente en la escala industrial se implementa como se explica a continuación:

#### Materias primas:

- Fenol
- Formaldehído.
- Catalizador básico (hidróxido de calcio, hidróxido de potasio, etc).
- Alcoholes (metanol, etanol, etc).
- Acido sulfúrico al 10%.

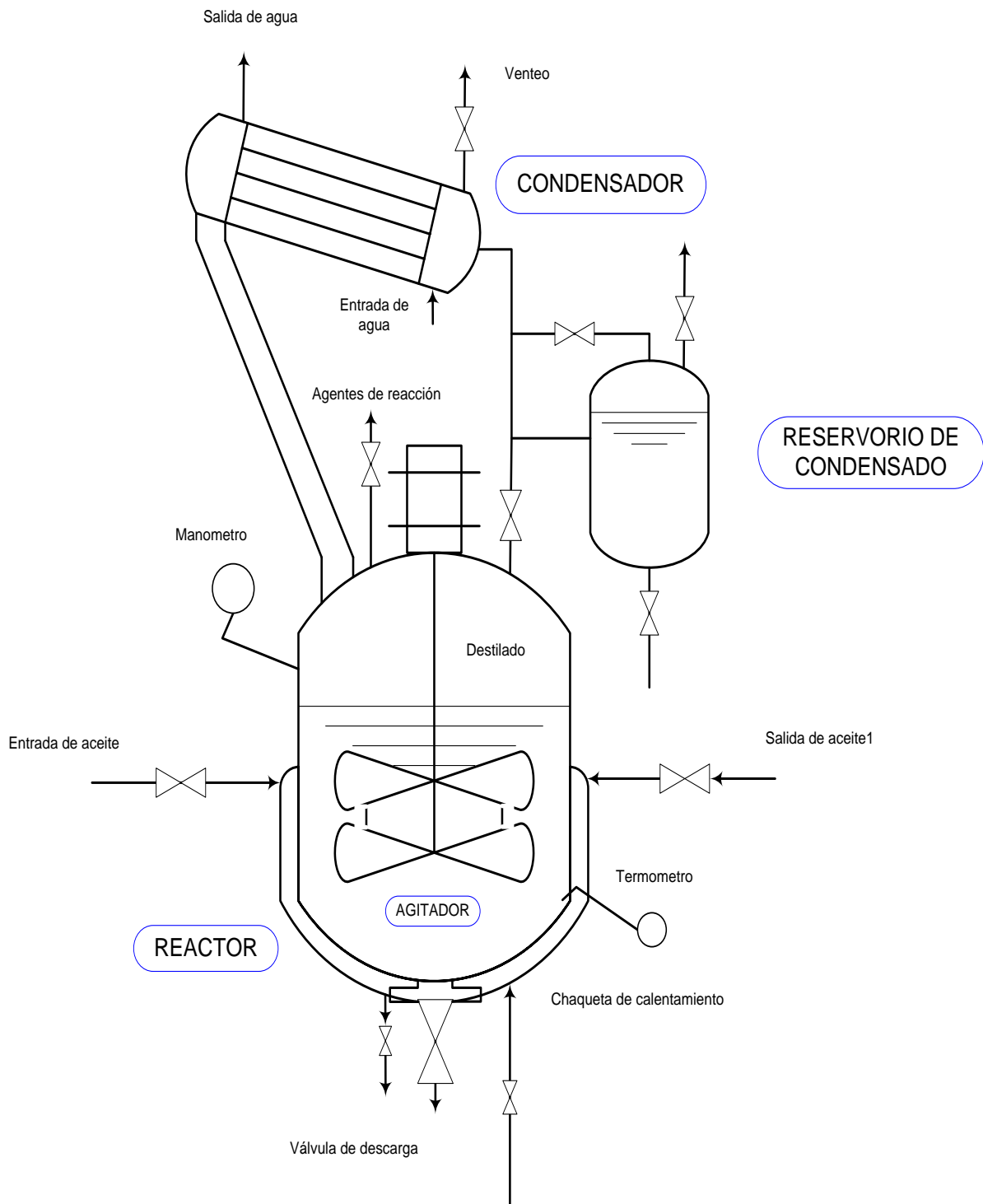
#### Equipos:

- Reactor para trabajar con vacío con serpentín interno.

- Agitador.
- Condensador.
- Bomba de vacío.
- Sistema de calentamiento.
- Válvulas, tuberías y conexiones.

### **Metodología de producción:**

- Cargar el reactor con la totalidad de del fenol a utilizar.
- Cargar aproximadamente el 60% del formaldehído y la totalidad del metanol.
- Cargar el catalizador al reactor.
- Calentar hasta 336.15 K aproximadamente y esperar la primera exotérmica evidenciada por el aumento de temperatura.
- Permitir que la temperatura se eleve a (371.15 – 373.15) K en un intervalo de tiempo de (6 – 12) min.
- Enfriar a 313.15 K, si es necesario.
- Cargar el resto de formaldehído a flujo constante en un periodo de tiempo de 15 a 20 min. La velocidad de flujo debe ser de acuerdo a la exotérmica de la reacción.
- Enfriar destilando y aplicar vacío lentamente. Controlar la entrada de aire del vacío hasta que la temperatura alcance 343.15 K.
- Calentar y destilar con máximo vacío a (328.15 – 331.15) K, hasta alcanzar la viscosidad deseada.
- Tomar la primera muestra aproximadamente a las 2 horas y realizar la determinación de la viscosidad.
- Una vez alcanzada la viscosidad requerida, enfriar violentamente a 313.15 K en 15 min y ajustar el pH de la resina.
- Descargar y almacenar.



**Figura 2.8 Diagrama de producción de resinas fenólicas con aprovechamiento térmico. (Bakelite., 2000).**

### 2.10.3 Producción de resinas fenólicas tipo resol mediante el sistema dowterm

Este sistema de producción sigue los mismos parámetros tanto los materiales y equipos como la metodología de manufactura de producción del sistema con aprovechamiento térmico. La diferencia radica en el método de calentamiento, el mismo es basado en un material llamado dowterm, el cual es una mezcla de difenil y óxido de difenil, el punto de ebullición de esto es de 258 °C a presión atmosférica y 354 °C a 80 psi. Esta mezcla sustituye el aceite térmico que promueve el precalentamiento de los reactivos de la policondensación al inicio de la reacción.

Por las características del fluido térmico (dowterm), el sistema consta de unos equipos auxiliares para garantizar que el calentamiento de los reactantes se lleve a cabo exitosamente, como se menciona en la Figura 2.9.

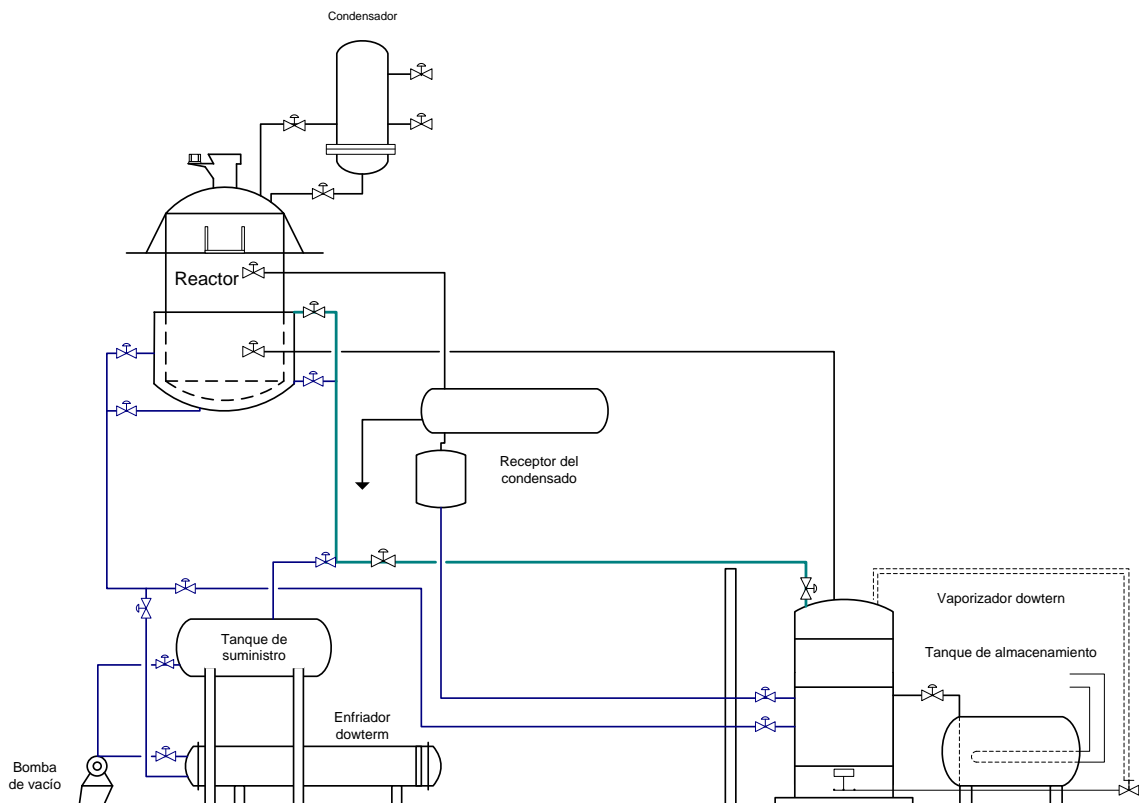


Figura 2.9. Sistema Dowterm. (Bakelite., 2000)

### 2.2.11. Producción de resinas fenólicas tipo resol mediante un sistema continuo.

Un moderno modelo de producción incluye las siguientes etapas:

- Carga de la materia prima y fase de calentamiento.
- Adición del formaldehído.
- Post- condensación.
- Destilación a presión normal.
- Destilación a presión de vacío.
- Descarga del reactor.

Los resoles se pueden clasificar en tres tipos, con formulaciones y procesos de producción individuales, en los siguientes:

- 1.- Resoles sólidos en forma de resina fundida.
- 2.- Resoles en solución como resultado de la última etapa de la síntesis.
- 3.- Resoles acuosos obtenidos sin más procesamiento.

El control crítico de la temperatura durante la síntesis y una muy exacta determinación del punto final de cada estado individual del proceso de condensación, post condensación, destilación, etc, son requeridos en todos los casos, en especial en la producción de resoles acuosos, la temperatura en la cual el producto es colocado en el recipiente es muy importante. Este proceso se caracteriza por un alto grado de control que significa incluso el uso de un sistema computarizado de control en cada etapa del proceso. A continuación se presenta una explicación detallada del proceso.

#### **Materias primas:**

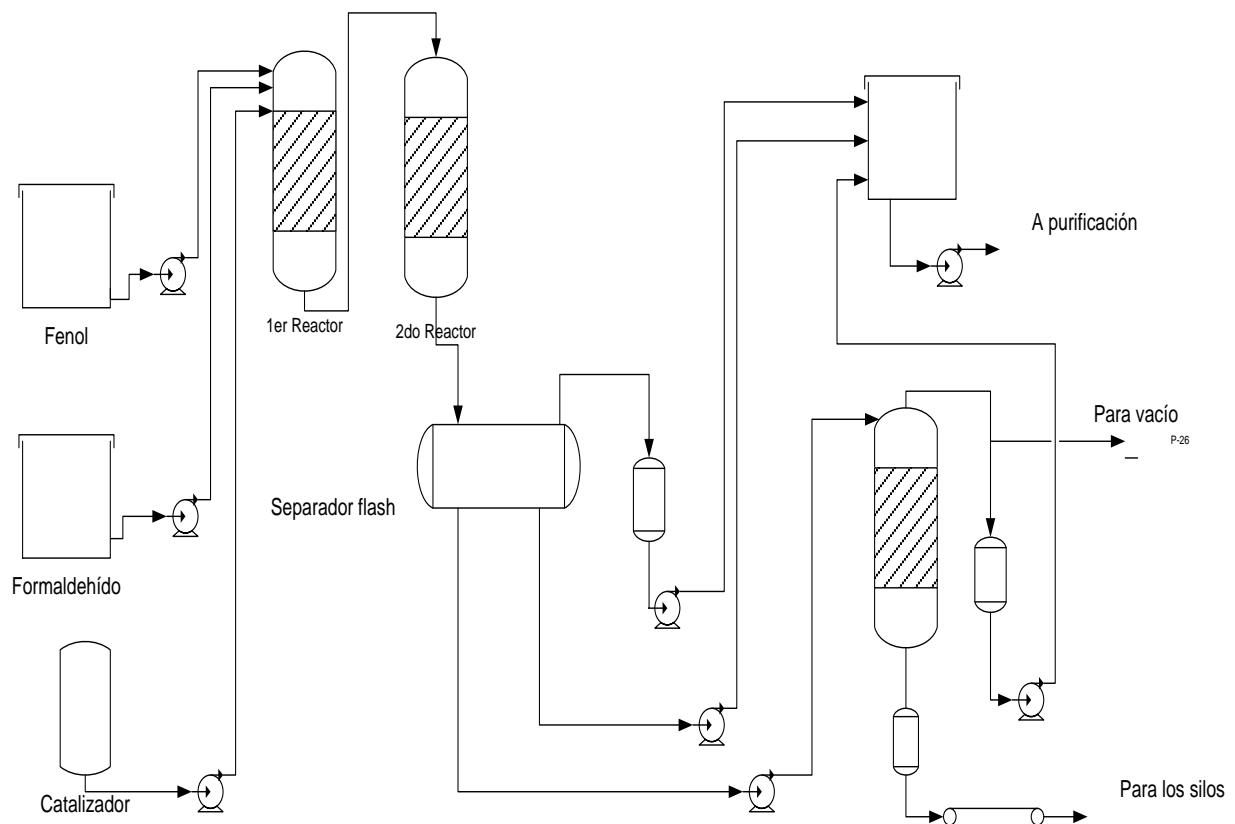
- Fenol



- Formaldehído.
- Catalizador básico (hidróxido de calcio, hidróxido de potasio, etc).

### Equipos:

- Reactor para trabajar con vacío.
- Reactor para trabajar a temperatura normal.
- Columnas de calentamiento.
- Separador flash de tres cuellos.
- Agitador.
- Condensador.
- Termómetro de contacto.
- Válvulas, tuberías y conexiones.



**Figura 2.10 Diagrama de flujo de producción de resinas fenólicas mediante un sistema continuo. (Bakelite., 2000).**

## Metodología de producción

- Circular 100% del fenol por las columnas de calentamiento.
- Cargar la totalidad del fenol precalentado, un 37% del formaldehído y un 50% del catalizador básico al separador.
- Calentar la mezcla en una rango de temperatura entre (60 – 100) °C en un período no menor a 30 minutos, si es necesario ajustar la temperatura con un enfriamiento con agua.
- Si la mezcla reactante lo permite, añadir un periodo de 15 minutos de reacción dentro del flash.
- Destilar la resina a presión de vacío hasta que esta alcance la viscosidad mínima.
- Verter la resina en el recipiente.

### 2.2.11. Control de calidad y métodos de análisis

En el proceso de resinas fenólicas es importante controlar y determinar las propiedades físicas y químicas que determinarán la aplicación de las mismas.

El control de calidad no solo es útil para garantizar el buen funcionamiento del producto, sino que también permite controlar el proceso, evitando las condiciones de accidentes. Algunas de las propiedades más importantes que deben ser controladas son:

#### 2.2.11.1. Viscosidad

“Se define viscosidad, de modo general y no riguroso, como la propiedad de la masa de un fluido de producir resistencia a su deformación o corrimiento de unas partes sobre otras”. (Perry, 1978). Los métodos más importantes para determinar la viscosidad de las resinas son:

- La determinación con el “falling ball viscosimeter “ (DIN 53015); el principio de medición es el movimiento de deslizamiento y rodamiento de una bola en una rampa, la cual es un cilindro lleno con el líquido a evaluar.
- El uso del viscosímetro de plato y cono (DIN 53229); su mecanismo de medición consiste en un plato plano sobre el cual rota un cono. La sustancia llena el espacio entre el plato y el cono, el tiempo necesario para una medición es de 1 a 2 min.

### 2.2.11.2. Diluibilidad del agua

La dilución en aguas juega un papel importante en el procesamiento de muchas resinas fenólicas. Cuando se diluye en agua se toman en cuenta dos consideraciones: la primera es la turbidez (opalescencia) y la segunda la fuerte turbidez - (lechosa o precipitación), y este factor, es el más importante en la determinación de la dilución

En el medio de medición de esta propiedad se toma una cantidad de resina líquida y es diluída en agua gota a gota y agitada, hasta que alcanza una turbidez permanente.

La capacidad de dilución en agua, el cual es un efecto del contenido de álcali y solventes, depende principalmente del grado de condensación de la resina y representa un buen criterio para el peso molecular.

### 2.2.11.3. Gravedad específica

“Es la relación entre la densidad de una sustancia y la densidad de una de referencia. Este es un número abstracto que no está relacionado con ninguna unidad. Para los sólidos y los líquidos la gravedad específica es numéricamente igual a la densidad” (Lewis ,1993).

#### **2.2.11.4. Punto de fusión**

“El punto de fusión de una sustancia pura es la temperatura a la cual sus cristales están en equilibrio con la fase líquida a la presión atmosférica “(Lewis, 1993). El punto de fusión es un análisis realizado solamente para resinas sólidas tipo noalacas y un indicador confiable del grado de resignificación de la resina, dando un estimado del peso molecular promedio de la misma.

#### **2.2.11.5. Tiempo de gelación**

El tiempo de gelación de una resina es el tiempo que tarda la resina en alcanzar el máximo grado de polimerización.

El método consiste en tomar una cantidad pesada de resina, llenar un tubo de ensayo y colocarlo en un baño de aceite a 453,15 K. El incremento en la viscosidad es determinado con una varilla de vidrio formando una especie de pistón. Tan pronto como el punto de gelación de la resina es alcanzado, la resina líquida comienza a formar fibras. El tiempo transcurrido es automáticamente registrado y corresponde al tiempo de gelación.

#### **2.2.12. Seguridad en la operación de Resinas Fenólicas**

Debido a la naturaleza exotérmica de las resinas fenólicas, requiere no solamente que las desviaciones de las operaciones señaladas sean limitadas, si no que también deben estar disponibles las técnicas para controlar cualquier desviación de las operaciones normales. Una operación incorrecta puede traer como consecuencia un producto fuera de especificación, un lote gelado, o una explosión. Ninguno de los eventos mencionados anteriormente es tolerable.

Los procedimientos de producción y de emergencia deben estar establecidos de forma tal que un evento, el cual, podría limitarse a la pérdida de un producto no llegue a

transformarse en un riesgo mayor para la vida humana o la estructura física de la planta.

Los procedimientos de emergencia posibles se limitan a la capacidad de enfriar una reacción problemática, o si no es controlada a tiempo, existe la habilidad para ventear o descargar una reacción fuera de control. Generalmente las consecuencias del error son severas y el margen de corrección es mínimo.

Los factores que hacen incontrolable una reacción fenólica, asumiendo un equipo bien diseñado son: fórmulas incorrectas, enfriado insuficiente o poca transferencia de calor, falla de control o sistemas protectores y alarmas. La mayoría de problemas que pueden surgir en una reacción fenol- formaldehído pueden estar incluidos en los tres factores mencionados anteriormente.

Una fórmula incorrecta significa una desviación de la formulación previamente establecida, de forma tal que los materiales cargados al reactor dan una reacción más exotérmica de lo esperado.

La desviación puede ser accidental, resultando de un equipo en mal estado, un cambio no muy bien pensado, entre otros. Los errores cometidos con mayor frecuencia son:

- Error de pesada o medida: estos errores pueden ser evitados de diferentes formas, tales como mejoramiento de la exactitud de las balanzas o medidores, estos deben ser revisados periódicamente.
- Errores de valvuleo: puede dar origen a cargas incorrectas en el reactor, derrames. Los sistemas de valvuleo bien diseñados juegan un papel importante, tanto las válvulas como las líneas deben estar identificadas. Una medida básica en la prevención de errores es el entrenamiento apropiado del operador.

- Control del material: Se incluye mantener el material correcto, disponible y con las especificaciones necesarias, es importante realizar de toda la materia prima recibida y en algunos casos estos análisis deben hacerse extensivamente a otros materiales. Un simple defecto en la calidad del producto, puede afectar el proceso.

A pesar del esfuerzo preventivo, ocurren errores, y pueden surgir situaciones como las siguientes: exceso de formaldehído, muy poco fenol, demasiado catalizador equivocado, entre otros.

Mantener un procedimiento de carga, un sistema formal de fórmulas, procedimientos de revisión constantes, y la aprobación de la calidad del material en función de las especificaciones permite disminuir los riesgos de accidentes.

Algunos puntos importantes antes de iniciar la producción son: asegurarse que el lote cabe en el reactor, que el tamaño del mismo va de acuerdo con la capacidad de enfriamiento y la fórmula, y de la disponibilidad del vacío. Asegurarse que el suministro de agua de enfriamiento es el adecuado.

Los errores de carga o un enfriamiento insuficiente pueden ser reconocidos por una desviación de la rata de calentamiento estándar o temperatura.

Por lo cual es fundamental que las condiciones estándar sean enfatizadas de tal forma que el operador puede reconocer y responder a cualquier desviación.

Fallas de enfriamiento durante el calentamiento inicial pueden ser desastrosas, sino son detectados a tiempo.

Es esencial que el operador le haga un seguimiento exhaustivo al proceso durante el calentamiento inicial, ajustando tanto el vacío como las condiciones de calentamiento.

## 2.2.13 Parámetros de diseño de los equipos principales en la producción de resinas.

### 2.2.13.1 Condensador

- ✓ **Cálculo del calor intercambiado en el equipo.**

El calor intercambiado en el condensador se calcula mediante un balance de energía global en el fluido caliente, donde se conocen las condiciones de entrada y salida del vapor de agua.

- ✓ **Cálculo de los flujos másicos.**

El flujo másico del fluido refrigerante es por lo general un valor conocido, al igual que el flujo de vapor que se desea condensar. En caso de que alguno de estos valores sea desconocido se puede obtener mediante un balance de energía en el sistema.

- ✓ **Estimación del coeficiente global de transferencia de calor ( $U_o$ ).**

En muchas bibliografías se presentan los valores promedios del coeficiente global de transferencia de calor según el tipo de condensador y las condiciones de operación.

En el apéndice F en la Tabla F.1. Se presentan algunos valores para el  $U_o$  para distintos tipos de intercambiadores.

- ✓ **Cálculo del área.**

El área del intercambiador de calor se calcula a partir del coeficiente global de transferencia de calor estimado y el calor intercambiado.

- ✓ **Cálculo de la variación de la temperatura ( $\Delta T_{ml}$ ).**

Uno de los factores más importantes en el diseño de intercambiadores de calor es la variación de temperatura a lo largo del equipo. Uno de los métodos para estimar la variación de temperatura durante el proceso consiste en la aproximación media logarítmica entre los valores de la temperatura a la entrada y a la salida del condensador.

✓ **Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor ( $U_o$ ).**

En los cálculos de  $U$  la resistencia a la transferencia de calor debido a la conductividad térmica de la tubería es muy pequeña y por esta razón se considera despreciable.

Los coeficientes convectivos se calculan con correlaciones de flujo interno o externo obtenidas de la literatura, dependiendo de las condiciones de operación.

✓ **Coeficiente convectivo externo.**

El coeficiente convectivo para el flujo externo se obtiene mediante una correlación, donde la constante  $C_1$  y  $m$  se presentan en la Tabla F.2. del apéndice F.

Todas las propiedades que aparecen en la correlación mencionada están evaluadas a la temperatura de película.

✓ **Coeficiente convectivo interno.**

El coeficiente convectivo interno se calcula mediante una correlación. Se presenta la tabla extraída del CERN para conteo de tubos utilizada en el diseño del condensador. La cual se encuentra en el apéndice F.

#### 2.2.14 Bomba de vacío

✓ **Elección del sistema de recuperación.**



En la fase de diseño del tamaño para la bomba de anillo líquido, generalmente la única decisión que hay que tomar es cual bomba de vacío de anillo líquido se podría utilizar debido a la capacidad para manejar cargas pesadas de vapor. Hay que seleccionar cómo se va a sellar la bomba (qué líquido) y qué sistema de recuperación se debe utilizar. Estas bombas requieren un flujo constante de sellante a la bomba por lo tanto se requiere medios de proveerlo.

#### **A.- Sistema de recuperación completo.**

Este sistema se emplea generalmente cuando el sellante a utilizar es un líquido a excepción del agua.

El aceite o el glicol se utilizan comúnmente cuando se requiere un vacío más profundo que el que puede proporcionar el agua, por lo general cerca de 15-20 torr. Un solvente o un alcohol se utiliza como líquido de sello cuando este mismo componente se está desarrollando del proceso y está siendo retirado hacia la bomba de vacío.

Esto es un sistema a circuito cerrado con el líquido recirculado constantemente. El líquido pasa a través de la bomba (por medio del propio vacío de la bomba) y es descargado a un tanque del separador, pasa a un intercambiador de calor y regresado a la bomba para ser reutilizado.

Se requiere un intercambiador de calor para retirar el calor que es generado en la operación de la bomba.

#### **B.- Sistema de recuperación parcial.**

Se utiliza generalmente cuando el agua es empleada como sellante y se desea recuperar tanta agua como sea posible. El agua se alimenta a la bomba por

abastecimiento directo con un poco de agua recirculada y otra parte es descargada al drenaje, la cantidad de agua que debe ser recirculada está determinada por el nivel de vacío deseado.

El agua que pasa a través de la bomba experimenta una elevación de temperatura de 10°F, debido al calor de compresión y el calor latente que es transferido por condensación adicional en la bomba.

Como el agua es recirculada a través de la bomba, el calentamiento eleva la presión de vapor limitado el máximo vacío permisible y aumentando la posibilidad de cavitación.

Para mayor seguridad se debe operar a la temperatura del sellante en una presión de vapor de 15 mmHg sobre el vacío, esto previene la cavitación y permite la recuperación máxima posible del agua.

Este tipo de disposición de recuperación es muy común y bastante económico comparado con el sistema completo de sellante que pueda llegar a costar hasta 30% más.

### **C.- Sistema de un solo paso.**

Este sistema se emplea generalmente cuando se utiliza el agua como sellante y la recuperación del agua no es importante, o se drena con facilidad al sitio de tratamiento.

Como con todos los sistemas de recuperación, hay un compromiso de costo y beneficio entre los costos en curso asociados al uso del agua y el costo inicial más alto de los sistemas.

✓ **Cálculo del caudal volumétrico de retiro de la bomba.**

Debido a que una libra mol de cualquier gas en condiciones estándares es igual al peso molecular y ocupa 359 pies cúbicos, se puede determinar el caudal volumétrico de retiro que la bomba de vacío debe producir para mantener el nivel de vacío requerido por el proceso.

Para ello se requieren dos ecuaciones importantes.

En primer lugar si la bomba debe trabajar con mezcla de gases, es necesario obtener el peso molecular promedio de la corriente de gases.

Todos los datos de funcionamiento para las bombas de vacío de anillo líquido están basados en condiciones de operación estándares 60°F., sello de agua, humedad relativa del 60% y la operación en la elevación del nivel del mar.

Si el sellante se cambia a otro líquido distinto del agua y/o temperatura diferente, se debe recalcular el funcionamiento de las bombas.

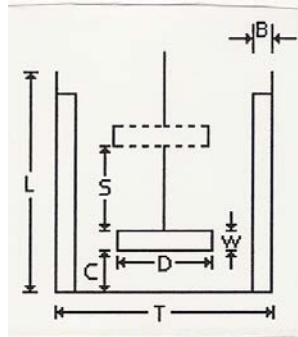
Es recomendable que siempre el sellante de la bomba opere a una presión de vapor por lo menos de 20 mm sobre el vacío de operación del sistema para prevenir la cavitación.

### **2.2.15 Agitador**

✓ **Dimensiones del agitador.**

Las dimensiones del agitador deben tener cierta proporcionalidad con las dimensiones del reactor donde este será utilizado.

En la Figura 2.11 se presenta un esquema de las dimensiones básicas de un agitador y las dimensiones del reactor.



**Figura 2.11 Dimensiones del reactor y el agitador.**

Donde:

T es el diámetro del reactor.

D es el diámetro del agitador. C es la altura del agitador.

S es el espaciado entre las propelas.

B es el espesor de los baffles. W es el ancho de la propela.

L es la altura del tanque.

En la Tabla F.5. Está tabulada la relación de las dimensiones.

✓ **Cálculo del número de Reynolds y número de potencia.**

El número de Reynolds y el número de potencia se calculan mediante las ecuaciones correspondientes y una vez obtenido el número de Reynolds el número de potencia se obtiene interceptando con la curva del agitador seleccionado, según la Figura F.1.

✓ **Cálculo de la potencia del motor.**

✓ **Requerimientos de potencia sugeridos.**

A continuación se presenta una tabla (tabla F.6) donde se encuentran especificados los rangos de potencia requeridos para distintas condiciones de mezclado y el nivel de agitación adecuado.

### CAPITULO III

## MARCO METODOLÓGICO

*A continuación se presenta de manera secuencial y detallada el desarrollo de la metodología a emplear para la realización y cumplimiento de los diferentes objetivos planteados, a través de herramientas metodológicas y específicas.*

Según los objetivos planteados, la investigación a nivel de profundidad es del tipo **evaluativa**, porque durante el desarrollo del estudio se efectúa un sistema que permite estudiar la posibilidad de llevar a cabo un modelo operativo de proceso para la obtención de resinas fenólica tipo resol por medio de una planta piloto; la explicación del lineamiento que toma este tipo de investigación fue basada en los fundamentos teóricos del Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. (Pérez. C. y Torres L. (2005).

En cuanto a la estrategia o diseño de la investigación, es de tipo **experimental**, ya que se manipularán variables a diferentes condiciones de operación, para finalmente obtener una combinación que garantice las mejores condiciones de la reacción.

Para el desarrollo de este proyecto se consideraron varias etapas fundamentales:

- Caracterización del producto deseado basándose en las propiedades físicas y químicas de un patrón existente en el mercado.
- Selección del procedimiento de producción más idóneo.
- Síntesis del compuesto a nivel de laboratorio.
- Desarrollo del producto a escala piloto.

- Estimación de la capacidad de la línea de producción.
- Dimensionamiento y diseño de los equipos necesarios para instalar la planta a escala industrial.
- Análisis de la factibilidad económica de producción de Resinas Fenólicas tipo Resol

Seguidamente se presenta la descripción detallada de cada una de las fases anteriormente mencionadas:

### **3.1 CARACTERIZAR LA RESINA FENÓLICA TIPO RESOL A FIN DE CONOCER SUS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.**

En esta etapa se evalúan las características y propiedades de la resina fenólica tipo resol de la competencia que actualmente sea la más fuerte en el mercado, con la finalidad de tomar un patrón como referencia, posteriormente con el análisis de laboratorio se verificaron los parámetros de calidad del producto deseado.

La caracterización del producto requirió la revisión de trabajos y textos especializados en el área para luego ordenar desde conceptos básicos, materias primas, procesos de fabricación, etc.

Se realiza la determinación del método experimental que se basa principalmente en la sintetización de la resina además de la clasificación de las materias primas y los equipos necesarios para desarrollar dicha síntesis.

Con la definición del procedimiento experimental se procede a la búsqueda de la muestra deseada, la misma se obtiene de una reconocida empresa a nivel nacional y por último se hace el análisis de las propiedades de los resoles.

### **3.1.1. Documentación técnica referente a la toxicología y a la manipulación de las especies reactantes y del producto de la sinterización de la resina fenólica.**

Para el cumplimiento de esta actividad se realizó una recopilación de información teórica de experiencias previas a nivel de laboratorio, siendo un factor relevante el estudio de las hojas de seguridad de las materias primas y del producto.

El estudio teórico permitió determinar cuáles de las características fisicoquímicas son determinantes para caracterizar el producto deseado.

### **3.1.2. Definición del método experimental, de los equipos y reactivos necesarios para la medición de las características que se desean conocer.**

Los fundamentos teóricos se complementan haciendo uso de páginas Web y revistas especializadas en producción de resinas, donde se especifica la metodología a seguir en el laboratorio para obtener las características físico – químicas de la resina.

El análisis experimental se centra en la determinación de características tales como: viscosidad, tiempo de gelación, densidad, nivel de alcalinidad y porcentaje de contenido de materias no volátiles.

### **3.1.3. Búsqueda y obtención de la muestra de Resina Fenólica con los proveedores actuales.**

Esta actividad se cumplió con una visita a una reconocida empresa productora de Resinas Fenólicas tipo Resol, dicha empresa proporcionó una muestra apreciable del producto.



Por otra parte, la empresa de RESINAS MÚLTIPLES S.A. contaba con un compendio de muestras que sirvió de base para la selección de la más adecuada, basándose en las especificaciones mínimas de la organización.

#### **3.1.4. Determinación experimental de los parámetros físico – químicos de la muestra de la resina fenólica tipo resol.**

Se tomó una muestra de 1 kg. de resina fenólica tipo resol, cantidad mínima requerida por el departamento de control de calidad, para la realización de ensayos experimentales llevados a cabo en el laboratorio de la organización, con el fin de conocer sus características, dichos parámetros físicos y químicos más sobresalientes tomados en cuenta para la producción de la resina se muestran especificados en la tabla 3.1., la cual es facilitada por la empresa patrocinante y que servirá como modelo de comparación con la muestra a analizar.

La muestra patrón servirá entre otras cosas para conocer el aspecto físico de la resina, ya que como se ha mencionado en la teoría que se puede determinar el punto final de la reacción guiándose por el aspecto de la resina ya que además de cambiar la viscosidad el cambio de color es una característica frecuente.

### **3.2 ANALIZAR EL MERCADO ACTUAL REFERIDO AL CONSUMO NACIONAL DE RESOLES CON LA FINALIDAD DE ESTIMAR EL TAMAÑO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN.**

Se realizó una investigación teórica con data obtenida por la empresa, la cuál aporta datos de demanda total, producción nacional e importaciones durante la última década la cual permitió realizar un estudio conciso de la situación actual del producto.

Se obtuvo un análisis previo hecho por los departamentos de investigación y desarrollo, el de comercialización y el de producción de la organización utilizando un instrumento de entrevista.

Se sintetizó la información referente al estudio de oferta y demanda del producto a nivel nacional, además de las aspiraciones de crecimiento de la industria nacional.

Luego de recoger la data se realiza una gráfica que muestre el comportamiento del mercado durante los últimos tiempos en la cual se realiza una extrapolación de la demanda insatisfecha (importaciones) que permite determinar la capacidad que debe tener la línea de producción de resoles para cubrir la cantidad de importaciones en el país. La información recogida se organizó mediante el cumplimiento de los siguientes pasos:

### **3.2.1. Estudio de la data de producción, importación y demanda de Resinas Fenólicas tipo Resol en los últimos años.**

Para la realización de esta actividad, se analizó la oferta y la demanda nacional e internacional en cuanto al consumo e importaciones de resinas fenólicas del tipo resol mediante la realización de preguntas puntuales al personal del Departamento de Comercialización y Mercadeo de la organización.

Asimismo, se realizó un estudio de una data experimental facilitada por fuentes secundarias en donde se pudo evidenciar de forma más detallada el comportamiento de la demanda actual de la resina, así como también la tendencia de crecimiento del mercado, además de la cantidad de importaciones que se realizan en el país.

### **3.2.2. Planteamiento, aplicación y análisis de la ronda de preguntas efectuadas.**

Basados en los resultados evidenciados en el proceso de preguntas al personal adecuado, referidas al tamaño de la línea de producción requerida por la organización, se estimó el tamaño definitivo de dicha línea de producción a implementar. El procedimiento se encuentra descrito de la siguiente forma:

Se calculó el consumo actual de resoles en la producción interna de la organización, investigando la cantidad necesaria de cada línea de manufactura. Para ello se realizó una revisión de los manuales de operación de la planta y entrevistas al personal del departamento de producción.

El desarrollo de esta actividad permitió obtener el consumo total de resinas de la empresa en los momentos actuales. Se realizó una proyección de la demanda de resinas para el consumo interno del país, esto se obtuvo con una data de mercado desde el año de 1996 hasta el 2006 procedente de la empresa, y del uso una fuente electrónica.

La proyección se realizó de una forma lineal extrapolando la tendencia a por lo menos 10 años. Se calculó el consumo aparente de la producción futura de RESINAS MÚLTIPLES S.A. para ello se aplicó al Departamento de Comercialización y el Departamento de Producción una entrevista, donde se especifica la cantidad de resina fenólica tipo resol que se necesitarían para el consumo interno de la planta y el porcentaje de la demanda que se pretende cubrir por esta línea de producción. El modelo de la encuesta llevada a cabo en esta sección para lograr el cumplimiento de la actividad, se muestra detalladamente en la sección 3.3.2 en el análisis de las tecnologías existentes en el mercado.

### **3.2.3. Estimación del tamaño de la línea de producción de resoles.**

La capacidad de la nueva línea de producción de resinas fenólicas tipo resol se estimó sumando las toneladas de la proyección de las ventas aparentes de resoles para el consumo interno del país y el consumo aparente de la producción futura de la empresa. Con la información suministrada por el Departamento de Comercialización de la organización, tomando en cuenta que las horas diarias de producción de la empresa son de 9 h/día y se trabajan unos 20 días hábiles por mes, se estableció la capacidad

de producción de resinas fenólicas tipo resol de acuerdo con el tiempo de producción bien sea diario, mensual o anual.

### **3.3 ANALIZAR LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES CON EL PROPÓSITO DE SELECCIONAR LA QUE MEJOR SE ADAPTE AL REQUERIMIENTO EN PLANTA.**

Para determinar la dificultad de producción de resinas fenólicas tipo resol, se estudió detalladamente las formas de producción existente en el mercado (por carga o continua) y cada una de las variaciones que poseen cada procedimiento.

Se considera que dentro de la producción por carga existe más de una tecnología a estudiar, donde se hace un estudio consecuente de cada una de las opciones conocidas tomando en cuenta los aspectos más relevantes de cada una.

Con la ayuda de la información suministrada por el Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa se determinó a través de tormenta de ideas cual de las formas de producción es la más recomendada.

Luego de escoger la forma de producción se procede a la selección de la tecnología apropiada, esto se realiza utilizando una matriz de comparación la cual permite estudiar los aspectos más limitantes de cada opción.

El procedimiento de selección se encuentra explicado de la siguiente forma:

#### **3.3.1. Estudio de las tecnologías de producción existentes en el mercado.**

En esta etapa se inicia el trabajo con una revisión bibliográfica de los libros Phenolic Resins. Chemistry, Applications and Performance, Phenolic Resins. Chemistry,

Applications, Standardization, Safety and Ecology and Technology of paints, Varnishes and Lacquers.

Esta revisión permitió conocer las diferentes tecnologías existentes en el mercado y los problemas de montaje y mantenimiento de las mismas. Una vez identificadas las tecnologías se procedió a estudiar las condiciones que debe tener la resina para cada una de ellas.

### **3.3.2. Planteamiento, aplicación, validación y análisis de la tormenta de ideas.**

En primera instancia se acudió a los integrantes del departamento de investigación y desarrollo de la empresa, en donde gracias al uso de la herramienta de trabajo grupal conocida como tormenta de ideas se analizaron los aspectos más importantes del producto deseado, mediante un proceso interactivo no estructurado se obtuvo la información necesaria, ideas creativas por parte del personal, en cuanto a los requerimientos específicos de la organización y así lograr centralizar los objetivos del departamento.

Una vez aplicada la estrategia se realizó el análisis de los resultados obtenidos basándose en un cuestionario.

Para verificar estos resultados, revisar el Apéndice C. El modelo de la encuesta que es aplicable también para la estimación de la demanda de Resinas Fenólicas tipo Resol presente en la sección 3.2, se muestra a continuación.

#### **3.3.2.1. Estudio de las tecnologías de producción y del mercado existente de resinas Fenólicas tipo resol**

A cada una de las siguientes preguntas conteste de forma clara y concisa:

- 1.- ¿Qué tipo de oferta tendría más éxito a nivel nacional, la oferta de un producto en medianas cantidades pero de gran diversidad, o la oferta de una cantidad muy alta de un producto invariable? ¿Por qué?
  
- 2.- ¿Es recomendable producir resoles con características constantes de viscosidad o de una misma línea de producción obtener resinas de distintas viscosidades, explique su respuesta?
  
- 3.- Entre la producción de Resinas Fenólicas hechas por carga o batch y el proceso continuo, ¿Cual es la que mejor se adapta a los requerimientos tanto internos como de mercado en la actualidad a nivel nacional? ¿Por qué?
  
- 4.- ¿Ha tenido la empresa los requerimientos de Resinas Fenólicas tipo resol de características variantes dentro de la misma línea de producción? de ser afirmativo puntualice el caso?
  
- 5.- ¿Tiene la empresa potenciales clientes para ubicar la nueva línea de producción de Resinas Fenólicas tipo resol?
  
- 6.- ¿De implementarse la línea de producción de Resinas Fenólicas tipo resol, la misma sería de que capacidad baja, mediana o alta?
  
- 7.- La empresa cuenta con la disponibilidad de un reactor de 1500 gal ¿Utilizando este equipo cual sería la capacidad de producción de Resinas Fenólicas tipo resol?

### **3.3.3. Selección de la tecnología que mejor se adapte a los requerimientos de la organización.**

Luego del análisis de los cuestionarios y con el estudio de las opciones del mercado se estimó cual de las tecnologías de producción cumplía con los requerimientos tanto de calidad como las medidas requeridas por la empresa.

Para realizar dicha selección se implementó un modelo de matriz de selección, donde se especifican los parámetros que poseen mayor relevancia al momento de escoger la tecnología que mejor se adapta mediante una evaluación cuantitativa.

El procedimiento para elaborar la matriz de selección es el siguiente:

- ✓ Determinación de los aspectos relevantes a evaluar: con la base teórica y la ayuda del tutor industrial se fijaron los ítems más importantes a considerar.
- ✓ Se le asigna un porcentaje de importancia a cada uno de los ítems tomando en cuenta que la suma de todos alcance el 100%, usando un criterio lo menos
- ✓ Se le coloca una puntuación a cada opción de tecnología estimada del 1-5 siendo 1 el peor caso y 5 el mejor argumento.
- ✓ Multiplicar el puntaje de por el porcentaje de cada ítem y luego dividirlo entre 100, el resultado de esta operación se anota en la casilla siguiente llamada puntos.
- ✓ Se suman los puntos de cada ítem de cada una de las tecnologías conocidas y se compara el total de la sumatoria de cada proceso.
- ✓ Se selecciona la tecnología que haya obtenido mayor puntaje.

### **3.4 REALIZAR ENSAYOS EXPERIMENTALES VARIANDO LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA MEJORAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RESINAS.**

Para la elaboración de esta actividad, se siguió detalladamente la metodología establecida por la tecnología de producción de resinas fenólicas tipo resol por cargas con aprovechamiento térmico, seleccionada en la sección anterior.

Se realiza el estudio basado en experimentos similares para establecer cuales de las muchas variables de operación son más influyentes en la síntesis de la resina, con la profundización de la información lleva a cabo la sintetización de la resina en las instalaciones del laboratorio.

Posteriormente se hacen los análisis típicos para la caracterización del producto y así fijar los parámetros de la reacción.

Se estableció la identificación de la instrumentación requerida por el laboratorio para la síntesis de la resina de acuerdo al siguiente procedimiento:

#### **3.4.1. Estudio de experimentos similares para determinar las variables que influyen en la sintetización de las resinas fenólicas tipo resol.**

Se revisó y se analizó el material bibliográfico de fuentes secundarias referentes a la producción de resinas fenólicas del tipo resol y se determinaron los aspectos que influyen directamente en la síntesis de la misma, tales como:

- ✓ La naturaleza de la materia prima.
- ✓ El control de la temperatura durante la reacción.
- ✓ La presión de vacío en la etapa de deshidratación.

#### **3.4.2. Determinación e implementación de la metodología del experimento según la tecnología seleccionada anteriormente.**

A continuación, se presenta la metodología o los pasos que se siguieron para alcanzar la síntesis de la resina una vez seleccionada la tecnología de producción:



- ✓ El condensador de reflujo es equipado con 400 mL de agua.
- ✓ Se añaden el fenol destilado y el formaldehído acuoso.
- ✓ Se usa hidróxido de calcio como catalizador.
- ✓ Se calienta la reacción mixta hasta aproximadamente (60- 80)<sup>o</sup> C en un tiempo de 2 h.
- ✓ Posteriormente se aplica vacío mediante un aspirador de agua, para luego ser removida a través de un condensador el cual es ahora modificado por la destilación.
- ✓ La temperatura de reacción no debe exceder los 70 °C.
- ✓ Se debe calcular cada 15 min, por el tiempo de gelación, para garantizar las condiciones optimas de la resina.

### **3.4.3. Recopilación y análisis de los resultados experimentales.**

Se prepararon 3 lotes de resinas de 1 kg., medidas que fueron establecidas por la organización, siguiendo los pasos antes descritos y cuidando exhaustivamente los parámetros más importantes señalados en el análisis teórico. La metodología del experimento es característica de la tecnología empleada, además es de resaltar el uso extremo de las medidas de seguridad para la manipulación de las materias primas y el producto. Posteriormente se realizó el análisis de laboratorio de las características de la resina obtenida, las cuales fueron establecidas con el estudio de la muestra patrón. Sobre la base de estos análisis se pudieron establecer los aspectos de mayor

relevancia para ser tomados en cuenta al momento de estandarizar el producto final, y en consecuencia, establecer las mejores condiciones de operación.

#### **3.4.4. Evaluación del producto con el patrón establecido como referencia en el Objetivo 1**

Para el cumplimiento de esta actividad se compararon los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados en el laboratorio y la resina previamente establecida como muestra patrón, para así valorar el producto final.

### **3.5 ESCALAMIENTO DE LA RESINA FENÓLICA TIPO RESOL A FIN DE EVALUAR SU COMPORTAMIENTO COMO PRODUCTO FINAL.**

Con el estudio experimental realizado se efectúa el escalamiento a nivel de planta piloto, partiendo de la estructura principal de una planta de producción de resoles.

Una vez determinadas las condiciones óptimas de operación para el desarrollo de resinas fenólicas tipo resol a escala de laboratorio, estas se proyectaron a escala piloto, manteniendo la proporción de las materias primas, es decir, esta etapa se basa en el escalamiento de la materia prima tal que la producción se adapte al volumen preestablecido de la planta piloto.

De igual forma se prepararon tres lotes de resina, y nuevamente se evaluaron las propiedades físicas y químicas necesarias para aprobar el producto.

Los equipos utilizados en esta etapa fueron suministrados por RESINAS MÚLTIPLES S.A., la misma cuenta con un sistema a escala piloto semejante al sistema de producción a escala industrial. Como se mencionó anteriormente la producción de un tipo específico de resina no difiere mucho en cuanto a los equipos por lo que se

manifiesta que la planta piloto con la cual dispone la organización garantiza el desarrollo adecuado de este estudio.

La planta piloto se encuentra equipada con un reactor de capacidad máxima de 0,19 m<sup>3</sup> (50 gal), a continuación se presenta una descripción más detallada de los equipos:

- Reactor de capacidad máxima de 0,19 m<sup>3</sup> (50 gal), equipado con una chaqueta de calentamiento por la parte cilíndrica y por la parte inferior. Fabricado con acero inoxidable SS.304 y diseñado para trabajar con vacío. Cuenta con un serpentín interno, válvulas de seguridad, válvula de carga y descarga del material.
- Agitadores con paletas en acero inoxidable con motor reductor de velocidad variable, capacidad de 68 rpm.
- Condensador de tipo tubo y coraza, con capacidad teórica aproximadamente 5 ft<sup>2</sup> de superficie de transferencia de calor. Presión de trabajo máxima de 125 psi y temperatura de operación máxima de 500 °F.
- Bomba de vacío de anillo líquido en acero común, equipada con motor de capacidad 15 Hp y 1170 rpm. El sellante es el agua y el sistema de recuperación es parcial.
- Depósito de agua, sistema de calentamiento de aceite, válvulas, tuberías y conexiones

Con el equipo anteriormente descrito se procedió al estudio de la escala piloto, para lo cual se contó con la ayuda del personal obrero de la empresa. Seguidamente

el personal supervisor y en específico el tutor industrial verificó el estado de la planta piloto.

Se van a realizar corridas experimentales manteniendo la relación molar entre el fenol y el formaldehído y adaptando las cantidades al volumen del reactor.

Aquí se obtendrán cantidades de 50 galones de resina fenólica tipo resol. Este procedimiento se realizará y se espera 3 lotes de 50 gal con características aceptables para la empresa.

Los tres lotes que se obtendrán en las corridas experimentales de la planta piloto serán caracterizados en el laboratorio.

Allí se le realizaron los diferentes estudios para determinar la viscosidad, tiempo de gelación, porcentaje de materia volátil en la resina y la densidad.

Con el análisis de laboratorio, y los datos tomados como referencia de una muestra patrón se hace una comparación cuantitativa de cada una de las propiedades estudiadas. Tomando en cuenta el análisis del intercambio térmico durante la reacción se determinara si el procedimiento empleado es el adecuado para el posterior dimensionamiento de los equipos necesarios en la escala industrial.

### **3.6 DISEÑAR LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA RESINA A ESCALA INDUSTRIAL CON LA FINALIDAD DE SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS DEL MERCADO.**

Una vez seleccionada la tecnología a emplear y el tamaño de la línea de producción, se analizarán los diferentes equipos necesarios para llevar a cabo la producción de resinas, sobre la base de los parámetros de operación más extremos.

Los equipos requeridos son: el condensador, agitador, bomba de vacío y serpentín interno.

Para llevar a cabo esta actividad, se tomarán en cuenta equipos principales de la tecnología a emplear.

El procedimiento de cálculo y dimensionamiento de los equipos antes mencionados se describe en las bases teóricas.

Se utilizaron las ecuaciones de diseño apropiadas para cada equipo, para ello se harán revisiones bibliográficas.

Esto será respaldado a través del personal del proceso, operario y con el tutor industrial, además se muestran los balances de masa y energía realizados para el dimensionamiento de cada uno de los equipos.

Los equipos principales a dimensionar son el condensador, la bomba de vacío y el agitador, cabe resaltar que la organización cuenta con un reactor que cumple con las exigencias de la producción de resinas.

A continuación se muestra de forma específica el procedimiento a seguir para el diseño de cada uno de los equipos:

### **3.6.1 Procedimiento de diseño del condensador.**

Para la evaluación del diseño del condensador se utilizó la siguiente metodología de cálculo que incluye un proceso iterativo. En la figura 3.1 se muestra gráficamente el procedimiento a seguir para el diseño del condensador.

- Especificar las condiciones de operación del condensador. Determinar el flujo de vapor de agua al condensador y la temperatura de entrada y salida.
  - Seleccionar el tipo de condensador.
  - Determinar la carga de calor que debe ser retirada en el condensador.
  - Calcular la diferencia de temperatura media logarítmica ( $\Delta T_{lm}$ ).
  - Estimar el coeficiente global de transferencia de calor ( $U_O$ ).
  - Calcular el área inicial del condensador.
  - Establecer un arreglo para el área obtenida.
- 
- Calcular las propiedades térmicas (coeficiente convectivo, interno y externo).
  - Recalcular el  $U_O$  y obtener el área nueva.
  - Verificar que se satisface la suposición, si no se cumple recalcular.

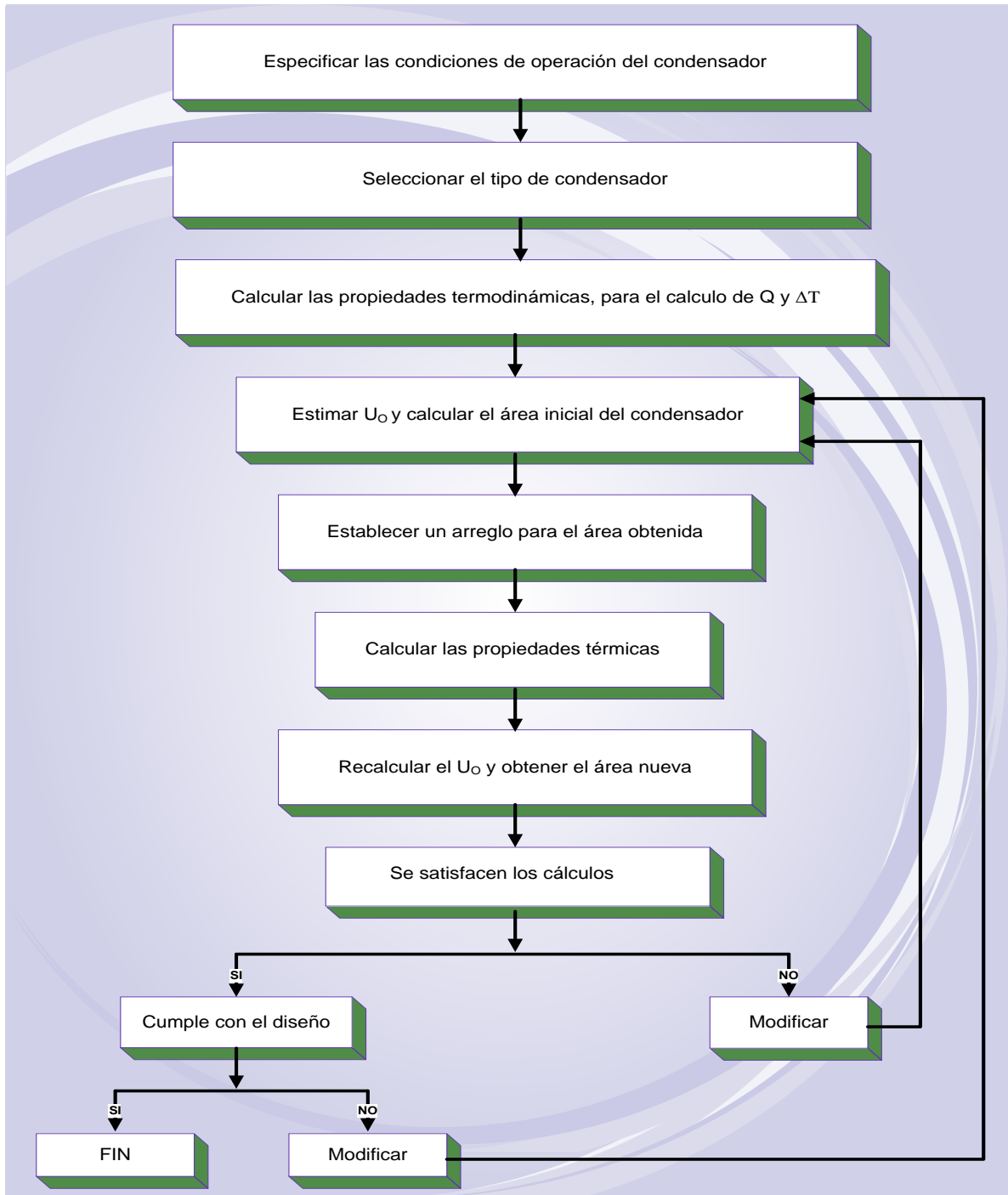


Figura 3.1 Flujograma con la metodología de diseño del condensador.

3.6.2. Procedimiento de diseño de la bomba de vacío.

El procedimiento de dimensionamiento del tamaño de la bomba de vacío utilizado es el siguiente:

- Determinar el vacío mínimo requerido por el proceso.
- Determinar el caudal de gases que maneja la bomba de vacío.
- Calcular el caudal volumétrico de retiro de la bomba.
- Definir el tipo de sistema de recuperación de la bomba.

En la figura 3.2 se muestra la ruta de cálculo a seguir en el dimensionamiento de la bomba de vacío.

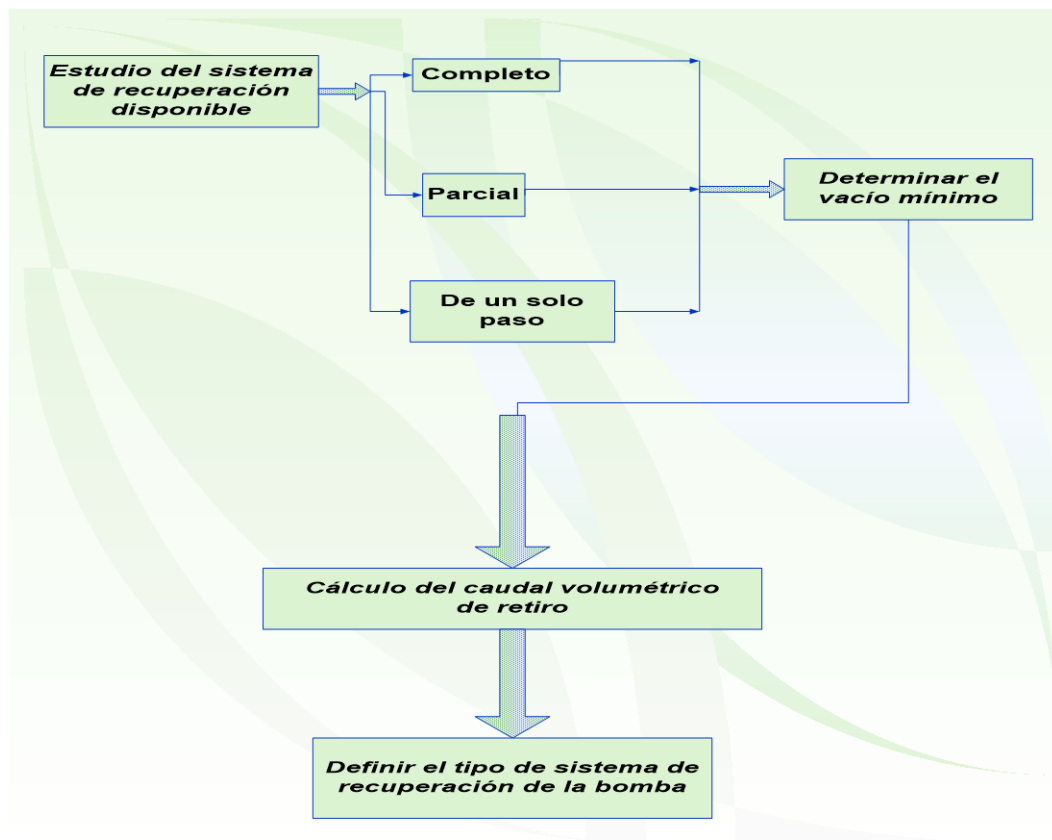


Figura 3.2 Flujoograma del dimensionamiento de la bomba de vacío.



Todas las ecuaciones necesarias y consideraciones importantes que deben ser valoradas en el diseño de la bomba de vacío se encuentran detalladas en el marco teórico.

### 3.6.3. Procedimiento de diseño del agitador.

El procedimiento de cálculo de las dimensiones y el requerimiento de potencia del sistema de agitación utilizado se describe a continuación:

- Determinar las dimensiones del agitador y del reactor.
- Calcular el número de Reynolds y el número de potencia.
- Determinar la potencia del motor.
- Comparar los resultados con los requerimientos sugeridos.
- Si los resultados no coinciden con los valores sugeridos, repetir el procedimiento anterior para diferentes velocidades y dimensiones del agitador.

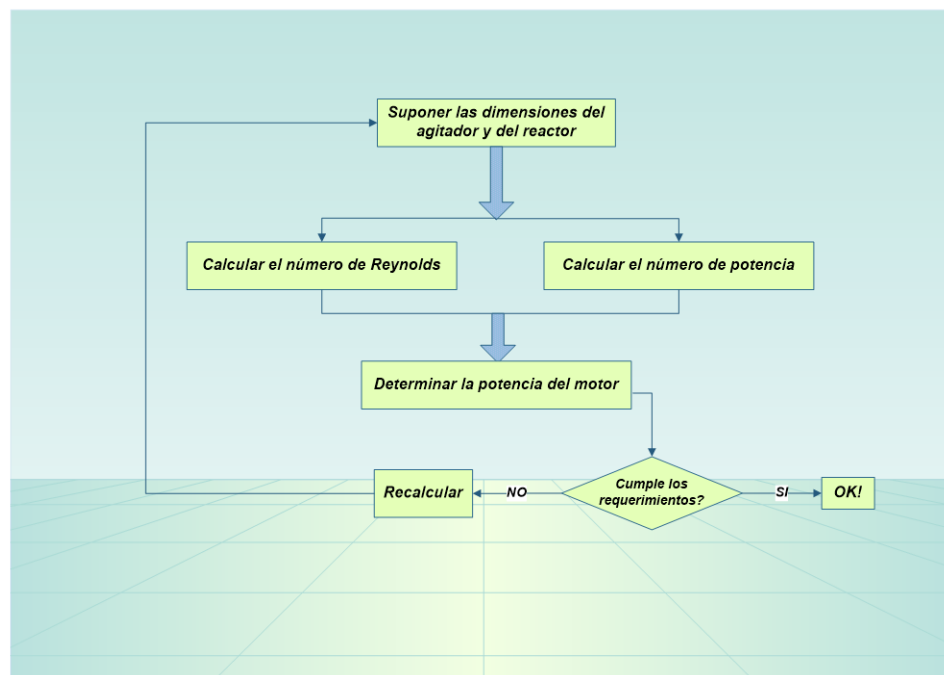


Figura. 3.3 Flujograma del dimensionamiento del agitador

La figura 3.3 muestra el proceso para dimensionar el agitador, dicho procedimiento se desarrolla con un proceso de iteración sencillo que emplea la suposición de las dimensiones del agitador en proporción al tamaño del reactor y haciendo uso de la tabla F.5 del apéndice F se establecen las dimensiones del reactor y haciendo uso del número de Reynolds y el número de potencia se calcula la potencia del motor, la cual se compara con la potencia requerida y se verifica si esta cumple con las necesidades del sistema, si no cumple se vuelve a calcular.

Las ecuaciones necesarias y consideraciones importantes que deben ser valoradas en el diseño del sistema de agitación se encuentran a continuación

Una vez realizados los balances pertinentes en cada uno de los equipos, se especificaron los parámetros de operación de los mismos y se obtuvieron tanto los datos de diseño como las condiciones de operación de cada uno.

### **3.7. ESTUDIAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA ESTIMAR LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO.**

Para iniciar esta etapa se realizó la recopilación del material referencial bibliográfico proveniente de textos relacionados con el área, así como también información técnica con expertos en la sección de compras y proveedores de los equipos que conforman la planta.

#### **3.7.1. Ingresos**

Estas entradas de dinero relacionadas con la evolución de la actividad productiva, se estimaron mediante la proyección de las ventas originadas por la entrega de producto al precio acordado entre los clientes y el productor, la cual representan los ingresos principales de la organización.

La estimación de las ventas producidas se realiza como sigue:

### **3.7.1.1. Ventas**

Para determinar las ventas producidas en 10 años, se seleccionan los clientes necesarios para llevar a cabo este procedimiento, se establece el precio o valor negociado entre el cliente y productor para realizar la entrega del producto y se estima las toneladas métricas de resinas fenólicas producidas. El total de ingresos por ventas se evidencia por la sumatoria del producto entre el precio establecido por la resina y las toneladas producidas para cada cliente. El total de ingresos viene representado por el total de ventas

### **3.7.2. Egresos**

#### **3.7.2.1. Inversión**

Financiamiento obtenido por el Ministerio de Ciencias y Tecnologías para poner en operación y estabilización de la actividad productiva.

- **Capital Fijo**

Dicho capital necesario para al acondicionamiento de la actividad productiva, se estimó de la forma siguiente:

- **Costos de Equipos Principales**

Se determinan las especificaciones de los equipos seleccionados, tales como dimensiones, materiales, particularidades de operación haciendo uso de nomogramas especializados para estimar costos.

Se calculan los siguientes costos:

**.- Ajuste de Tiempo:**

Cociente entre el índice actual y el de referencia, en donde este último representa el costo promedio para cada año en análisis.

**.- Ajuste de Capacidad:**

Cociente entre la capacidad requerida y la capacidad conocida.

En consiguiente, el costo de equipos se estima mediante el producto de los ítems antes mencionados.

- **Costos de Instrumentación y control**

Se requiere del análisis y selección de los equipos que requieran de instrumentación y control, se estima alrededor del 13% del costo de equipos.

- **Costos de Tuberías**

Análisis de las tuberías necesarias para el proceso, se estima alrededor del 35 % del costo de equipos.

**Nota:** Si alguna tubería incluye aislante, también debe incluirse estos porcentajes para efectos de cálculos.

- **Costo de Equipos Eléctricos**

Se estima mediante un rango del 10 % al 15% del costo de equipos.

- **Costo de Estudios y Proyectos**

Se estima mediante el 35 % del costo de los equipos.

- **Costo de Supervisión y Entrenamiento**

Se estima mediante un rango comprendido entre (2-7) % del costo de los equipos

- **Costo de Arranque, Pruebas y Contingencias**

Se establece una previsión por problemas potenciales durante inicio de operaciones productivas.

**Nota:** Debe hacerse la sumatoria de todos estos cálculos para estimar el costo total por capital fijo.

- **Capital de Trabajo**

Se establece el cumplimiento de los objetivos establecidos mediante los siguientes pasos:

- **Costo de inventario de materia prima**

Se requiere de las toneladas de resinas fenólicas producidas por día, así como el costo de la misma, el cálculo viene estimado por el producto entre las variables antes mencionadas.

- **Costo inventario de producto**

Se requiere de las toneladas de resinas fenólicas producidas por día, así como el precio de la misma, el cálculo viene estimado por el producto entre las variables antes mencionadas.

- **Costo de inventario de repuestos**

Se estima mediante un rango entre 10 % al 15 % del costo de equipos.

- **Costo por Salarios:**

Se requiere de la estimación del personal existente en la organización y del sueldo referido para cada uno por mes.

- **Efectivo de Caja**

Requerimientos iguales a los de la sección 3.7.2.1.2.2 (costo inventario de producto)

**Nota:** Debe hacerse la sumatoria de todos estos cálculos para estimar el costo total por capital de trabajo.

La inversión total se estimará mediante la suma de el capital fijo y el capital de trabajo especificados anteriormente.

### 3.7.2.2. Costos de Producción

Para la estimación de este costo, se realiza el estudio de los costos involucrados en la operación de plantas y sistemas de distribución o costos de manufactura y de los generales.

- **Costos de manufactura**
- **Costos Directos**
- **Materias primas**

Se requiere de una poción o alícuota de las toneladas de resinas fenólicas y del costo de cada una; el costo total por materias primas se evidencia mediante el producto entre los aspectos antes mencionados.

- **Aditivos y Catalizadores**

Se estima de forma similar a la sección anterior.

- **Operadores de planta**

Se necesitan de las toneladas métricas de resinas fenólicas, de los equipos esenciales requeridos por la organización y del tiempo laboral del operador; la estimación de este costo se efectúa mediante el producto de los aspectos antes mencionados y de un beneficio establecido por la organización que puede ir desde 16% hasta 21 % del salario de los operadores.

- **Supervisor de Turno**

Se estima mediante un rango comprendido entre el 10 % al 15 % del costo de los operadores.

- **Materiales Mantenimiento**

Se estima mediante el producto entre el capital fijo y la suma del porcentaje de material y el porcentaje de mano de obra, los porcentajes tanto de material como de mano de obra.

- **Laboratorio**

Se estima mediante el producto entre un rango comprendido entre 10 % al 20 % y la suma de los costos de operadores y supervisores

- **Costos Indirectos**

- **Supervisores de Planta**

Se estima de forma dependiente de acuerdo a la responsabilidad, conocimientos y antigüedad.

- **Seguros**

Se estima mediante el 1 % del capital fijo

**Nota:** El total de costos por manufactura se debe a la suma de los costos directos e indirectos.

- **Gastos Generales**

- **Gastos de Administración**



Se estima mediante el producto del costo de operadores y un rango comprendido entre 40 % y 60 %.

- **Gastos de Ventas**

Se estima mediante el producto de la suma de los costos de manufactura y administrativo y un rango comprendido entre 2 % al 20 %.

**Nota:** El total de costos generales se debe a la suma de los gastos por administración y de ventas.

El costo total de producción se estima mediante la suma entre los costos de manufactura y los gastos generales.

### 3.7.2.3. Impuesto sobre la Renta (I.S.L.R)

Se estima mediante el producto entre la tasa y el enriquecimiento menos el sustraendo.

El enriquecimiento se estima mediante el cociente entre el valor de las unidades tributarias y la resta de los ingresos, costos de producción y los intereses generados por la deuda. Los valores de la tasa y el sustraendo, se encuentran especificados en la siguiente tabla I.7 del Apéndice I. El total de egresos viene representado por la suma de la inversión inicial, el costo de producción y el valor de impuesto sobre la renta.

- **Flujo de caja**
- **Horizonte Económico**

Una vez estimados los ingresos y egresos referentes a la producción nacional de resinas fenólicas tipo resol, se realiza una resta de estos por cada año hasta llegar al año 10 del horizonte económico.

### **3.7.3. Indicadores Económicos**

- **Valor presente neto (VPN)**

Se realiza una sumatoria de los flujos de cajas en sus valores equivalentes al primer segmento del horizonte económico.

- **Tasa Interna de retorno (TIR)**

Se realiza un tanteo para estimar el valor de la tasa que hace que el valor presente neto se haga igual a cero.

## CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

*En este capítulo se muestran los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación abarcando aspectos que van desde la caracterización del producto deseado hasta el análisis económico del proyecto, así como la selección adecuada de la tecnología de producción, la estimación del tamaño de planta y la evaluación del producto realizado a escala de laboratorio y escala piloto, para luego diseñar los principales equipos de necesarios para la obtención de resinas fenólicas tipo resol.*

### **4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA RESINA FENÓLICA TIPO RESOL A FIN DE CONOCER SUS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.**

Haciendo uso del material teórico bibliográfico se pudo determinar que las características de la resina fenólica de mayor relevancia dependen de la aplicación industrial para la cual se está desarrollando el producto. En el caso de los resoles se estableció como características principales la viscosidad, el tiempo de gelación, el porcentaje de componentes no volátiles, el nivel de alcalinidad y la densidad. Cada una de las características anteriormente mencionadas se determinó bajo un estricto procedimiento experimental el cual se encuentra de forma más detallada en el apéndice B.

Con una muestra de aproximadamente 1 kg. de resina fenólica tipo resol, la cantidad de muestra es un parámetro establecido por el departamento de control de calidad de la organización, la misma procede de una empresa reconocida nacionalmente donde se realizaron una serie de análisis experimentales, el procedimiento se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de la empresa, el resultado se comparó con la ficha técnica proporcionada por dicha organización. De los datos obtenidos en el laboratorio se obtuvieron las características físicas y químicas que se muestran en la tabla 4.1.

Dichos resultados se asemejan mucho con los suministrados por la empresa que facilitó la muestra, en consiguiente, se puede concluir que todos los equipos con los cuales está dotado el laboratorio se encuentran en condiciones óptimas, además que el laboratorio cumple con todas las normas de seguridad necesarias para la manipulación de la muestra.

**TABLA 4.1.**  
**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA MUESTRA**

<b>Parámetro</b>	<b>Ficha técnica</b>	<b>Resultados</b>
<b>Viscosidad @ 25 °C</b> ( $\mu \pm 1$ ) cPs	(300 – 400)	364
<b>Componentes no volátiles</b> ( $C_{NV} \pm 0.1$ ) %	(65.0 – 80.0)	72.3
<b>Nivel de alcalinidad @ 25 °C</b> (pH $\pm 0.1$ ) Adm.	(8.0 – 9.0)	8.9
<b>Tiempo de gelación @ 120 °C</b> ( $t_g \pm 0.1$ ) min	(30.0 – 60.0)	48.1
<b>Densidad @ 25 °C</b> ( $\rho \pm 0.01$ ) g / cm <sup>3</sup>	(1.18 – 1.22)	1.21

#### **4.2 ANÁLISIS DEL MERCADO ACTUAL REFERIDO AL CONSUMO NACIONAL DE RESINAS FENÓLICAS TIPO RESOL CON LA FINALIDAD DE ESTIMAR EL TAMAÑO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN.**

La producción de resinas fenólicas del tipo resol, ha ido en constante crecimiento, sin embargo, la tendencia no ha sido suficiente para cubrir la demanda actual. En los últimos años se observa un nivel de importaciones muy por encima de la

producción nacional, esto sin tomar en cuenta la importación de productos ya procesados que requieren de la misma resina fenólica como materia prima.

En la tabla C.1 del apéndice C se muestra tabulado la información referente a la demanda de resinas fenólicas tipo resol de la última década, especificando la cantidad de importaciones y la de producción nacional del producto.

Los resoles, como ya se ha mencionado, tienen un campo de aplicación bien amplio por lo que resulta de mucha importancia la incorporación al mercado de un producto capaz de satisfacer las necesidades del mismo, en la búsqueda de la calidad siempre es imprescindible determinar la capacidad que se espera de esta línea de manufactura, por lo que para establecer el tamaño de la producción se tomó en cuenta toda la data de demanda, es decir, tanto la producción nacional como los niveles de importación, con lo cual se estimó el volumen de la línea de fabricación de resoles más conveniente.

En la Figura 4.1, se muestra la proyección gráfica, en donde se extrapoló la información suministrada desde el año 1996 hasta el 2016, la línea azul corresponde a la demanda de resoles y la rosada a las importaciones realizadas del producto en los últimos años, vale la pena resaltar que la porción sometida a estudio es la resultante de restar la línea azul menos la rosada, para estimar estas importaciones.

Haciendo referencia a la tabla C.1, se muestra la diferencia existente entre la producción nacional y las importaciones, lo cual permitió establecer un aproximado del tamaño que debe poseer la línea de producción de resinas fenólicas tipo resol para cumplir las exigencias del mercado.

Los resultados obtenidos, tomando en cuenta un factor de sobrediseño de 1.3 se muestran en la tabla 4.2.

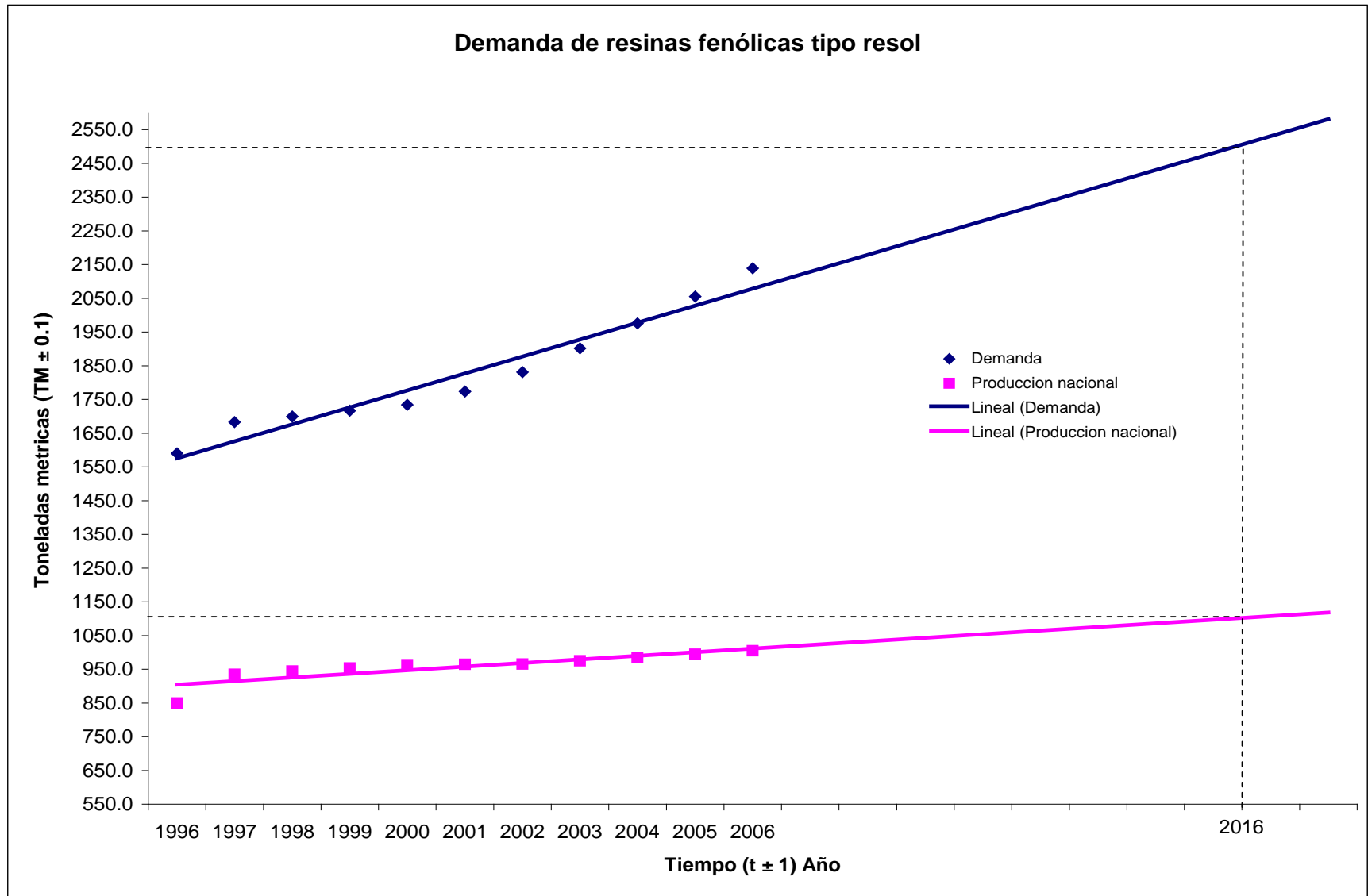


Figura 4.1. Producción nacional e importaciones de la última década de resoles. (Bakelite. 2000).

**TABLA 4.2**  
**ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RESINAS FENÓLICAS TIPO RESOL**  
**PARA UNA PROYECCIÓN DE 10 AÑOS**

<b>AÑO</b>	<b>Producción Nacional TM</b>	<b>Demanda totalTM</b>	<b>Producción (Pd) TM</b>	<b>Producción por turno TM</b>	<b>Producción diaria TM</b>
2016	1100	2500	1680	1.2	2.5

#### **4.3 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA EXISTENTE CON EL PROPÓSITO DE SELECCIONAR LA QUE MEJOR SE ADAPTE AL REQUERIMIENTO EN PLANTA.**

Actualmente existen dos formas de producción industrial de resinas fenólicas tipo resol, una realizada por cargas y otra con un proceso de producción continua. Hoy por hoy se desarrollan a nivel industrial al menos 3 tecnologías de producción por cargas, sistema de policondensación con destilación al vacío, sistema con aprovechamiento térmico y sistema dowterm.

En general la producción se basa en dos fases importantes, la primera es la etapa de condensación en la cual la reacción se lleva a cabo y se completa la formación de la resina y la segunda es la de deshidratación o purificación de la resina donde se elimina el excedente de agua; por lo que la forma en la cual se desarrollan ambas etapas varía de acuerdo a la tecnología de producción.

Tomando en cuenta la información obtenida directamente de los integrantes del Departamento de Producción y Comercialización de la empresa a través de una tormenta de ideas que se realizó se pudo obtener la siguiente información:

- ✓ Cuando los requerimientos del mercado impliquen condiciones de viscosidad de la resina constantes o por lo menos con no más de 3 grados de diferencia, el

proceso se puede establecer como una producción continua, sin embargo, cuando la realidad es otra, es decir, de una misma línea de manufactura se esperan resinas de diferentes viscosidades la forma de producción más adecuada es la de por carga o batch.

- ✓ El propósito principal del desarrollo de este proceso es cubrir una demanda insatisfecha, en donde el cliente pueda establecer las características del producto que desea y en base a la implementación de una tecnología de producción por carga conseguirse el abastecimiento del mercado actual.
- ✓ En el proceso de producción de resinas fenólicas del tipo resol de forma continua, se requiere un sistema de control automatizado que regule la presión y la temperatura en cada una de las etapas de producción, además de un sistema que controle de forma progresiva el nivel de solvente (formaldehído) libre en el sistema, todo esto para verificar el estado de la reacción, con lo cual se haría necesario adaptar o diseñar un software conectado al proceso para controlar todas estas etapas.
- ✓ La producción por cargas requiere un control exhaustivo de la temperatura del medio, con el uso del condensador a reflujo total la temperatura se podría mantener dentro del rango deseado.

Haciendo un análisis de la información obtenida se pudo determinar que el proceso de producción que mejor se adapta, tanto a los requerimientos de la empresa como en los de mercado, es la producción por carga o por batch que garantizó un amplio margen de versatilidad de la línea de producción.

A continuación, se presenta en forma esquematizada los parámetros de control de mayor relevancia para realizar la selección del proceso de producción a aplicar, ya que como se explicó antes actualmente existen al menos 3 tecnologías de producción



de resinas utilizando un proceso por cargas. La selección de dicha tecnología se hizo a través del uso de una matriz de selección. En la tabla 5.3 se muestra los resultados de la matriz empleada en la sección 3.3.3 para el análisis de las tecnologías disponibles.

Para estudiar la factibilidad económica de la producción de resoles se hizo necesario tomar en cuenta la materia prima, tanto la calidad como el costo de la misma, motivo por el cual fue uno de los factores más importante al momento de la selección, sin embargo, en cada tecnología existen al menos 1 o 2 reactivos característicos los cuales presentan dificultad en cuanto a la disponibilidad de los mismos. Por lo explicado anteriormente este es un aspecto representativo a la hora de tomar en cuenta alguna decisión.

El costo de los equipos y los servicios industriales son 2 condiciones que van unidas al factor inversión, y como es necesario mantener una medida de economía durante todo el desarrollo del estudio, se hace indispensable incluir dichas consideraciones dentro de la evaluación cualitativa planteada.

El sistema de control y la dificultad técnica abarcan el campo referente al procedimiento de operación de cada tecnología al momento de producir las resinas, si se requiere el uso de controladores automatizados es necesario contratar al personal especializado para diseñar los mismos. Por otro lado si la tecnología implica una dificultad técnica muy alta, se requerirá personal altamente calificado para llevar a cabo el proceso en planta. Lo anteriormente expuesto explica porque se hizo necesario contener tanto el sistema de control como la dificultad técnica en la matriz de selección planteada.

Para implementar esta evaluación cualitativa se contó con un equipo de profesionales pertenecientes al departamento de investigación y desarrollo de la empresa, además de la ayuda tanto del tutor industrial como del tutor académico, para poder resumir en una matriz de selección los aspectos más importantes a considerar.

En la matriz de selección se estudian las 3 tecnologías de producción de resinas por cargas

Donde:

SPDV: Sistema de policondensación con destilación al vacío.

SAT: Sistema con aprovechamiento térmico.

SDT: Sistema dowterm.

**TABLA 4.3**  
**MATRIZ DE SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN**

<i>Proceso de producción</i>	<i>%</i>	<i>SPDV</i>	<i>Ptos</i>	<i>SAT</i>	<i>Ptos</i>	<i>SDT</i>	<i>Ptos</i>
<i>Materia prima (disponibilidad)</i>	15	3	0.45	4	0.6	4	0.6
<i>Costos de los equipos</i>	25	2	0.5	4	1	2	0.5
<i>Sistemas de control</i>	15	3	0.45	5	0.75	5	0.75
<i>Servicios industriales</i>	20	4	0.8	4.5	0.9	4.5	0.9
<i>Dificultad técnica</i>	25	3	0.75	4	1	3	0.75
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>2.95</b>		<b>4.25</b>		<b>3.5</b>

- Materia prima 1-5: siendo 5 la materia prima con mayor disponibilidad a nivel nacional y 1 la materia prima menos disponible a nivel nacional.
- Costos de los equipos 1-5: 5 equipos menos costosos y 1 que refleja el más costoso.
- Sistemas de control: 1 el sistema que requiere mas control y 5 el menos complicado.

- Servicios industriales: 1 el sistema que requiera mayor cantidad de servicios y 5 el que requiera menos servicios.
- Dificultad técnica: 1 el sistema menos sencillo y 5 el más sencillo.

Los servicios industriales y los equipos como tal generan una cantidad de gastos, como inversión inicial y constantes durante todos los meses, por lo que fue preferible la elección de aquella tecnología que utilizó menos equipos, esto se traduce en menos servicios industriales, menos costos por adquisición de equipos y menor dificultad para conseguirlos. A continuación se presentan las características de cada uno de los sistemas de producción por carga:

- ✓ SDT representa un excedente de gasto ya que este requiere un vaporizador, un refrigerante y un tanque de almacenamiento del fluido Dowterm.
- ✓ El SPDV necesita una torre de destilación al vacío, una banda transportadora y un cuarto de refrigeración adicional de los equipos necesarios.
- ✓ SAT, no requiere equipos auxiliares, solo el uso de un serpentín externo en el caso tal que el enfriamiento con el serpentín interno no cumpla con los requerimientos del producto.

El sistema de control representa los aspectos que cada tecnología requiere para manipular la producción de resinas, la producción por SPDV, necesita el control de la temperatura y presión del sistema además de controlar los aspectos referentes a la torre de destilación al vacío, la banda transportadora y el cuarto de refrigeración. Por otro lado el SAT y el SDT no requieren aspectos de control apartes de la presión y temperatura en las etapas de producción del sistema por carga.

La dificultad técnica se refiere a la metodología de producción como tal, es decir, en el SPDV se necesita la adición del ácido sulfúrico para controlar el pH, además de tener una torre de fraccionamiento al vacío que agrega un grado de dificultad. El SDT utiliza un sistema de reflujo de Dowterm para el calentamiento previo, el cual le adiciona un conjunto de equipos que aumentan la dificultad de la tecnología. SAT, no presenta alteraciones extras que difieran del resto de las estrategias metodológicas.

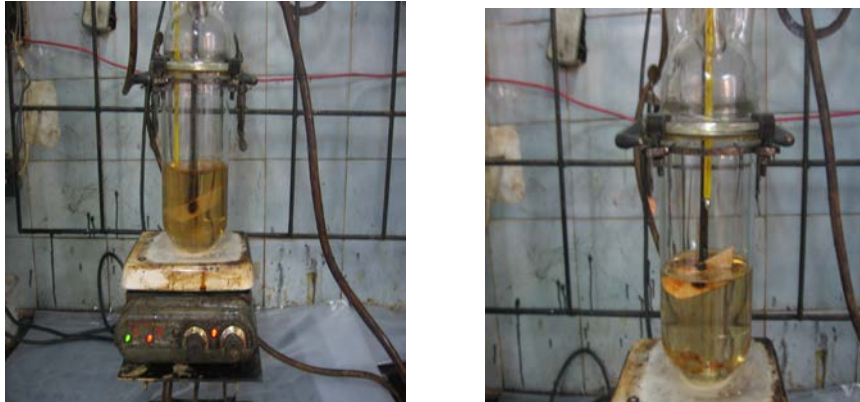
En la evaluación realizada a través de la matriz de selección se demostró que la tecnología más adecuada es la de producción por carga del sistema con aprovechamiento térmico, a pesar de que la metodología de SPDV es más difundida, la producción por SAT resulta menos costosa por lo que requiere de menos equipos, y garantiza un rendimiento bastante aceptable.

#### **4.4 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES VARIANDO LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA MEJORAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RESINAS FENÓLICAS TIPO RESOL.**

Las resinas fenólicas y en general todos los polímeros pueden tener distintas propiedades y aplicaciones dependiendo de su proceso de producción, por lo mismo vale la pena resaltar que las condiciones de operación de dicho proceso surgen como el resultado de cumplir con ciertas especificaciones necesarias para el uso del producto en RESINAS MÚLTIPLES S.A.

En esta fase del proyecto se realizaron las pruebas necesarias para determinar los parámetros de producción óptimos para la obtención de resinas fenólicas tipo resol. Basándonos en la selección de la tecnología de producción por carga del tipo SAT, la metodología experimental utilizada en la escala de laboratorio es igual a la producción industrial, con la diferencia de que el reactor de vidrio no tiene un serpentín interno, por lo que al momento de finalizar la etapa de condensación el producto fue enfriado sumergiéndolo en un beaker con agua fría e hielo para detener la polimerización.

En las figuras 4.2 se muestra el sistema utilizado en el laboratorio.



**Figura 4.2 Sistema de reacción del laboratorio**

Por investigación teórica previa se determinó que la relación molar del fenol y el formaldehído se debe fijar en un rango de 1:1 y 1:3 respectivamente, se trabajó con una relación molar dentro del rango preestablecido; por otro lado se sabe que la naturaleza del catalizador es de tipo alcalino donde la concentración del mismo también se mantiene en forma confidencial.

El procedimiento empleado fue parecido al sistema de producción a escala industrial escogido anteriormente.

Antes de iniciar la adición del catalizador, es necesario calentar y agitar bien la mezcla de fenol – formaldehído, ya que el formaldehído se encuentra en solución acuosa y como consecuencia del tiempo de almacenamiento este no se encuentra bien disuelto.

De este modo el calentamiento permite una homogenización de la mezcla y al agregar el catalizador se garantiza el entorno favorable para que se origine la reacción.

Inmediatamente después de agregar el catalizador se evidencia una elevación en la temperatura, esto es consecuencia de que se da inicio a la condensación y ésta es exotérmica, es decir libera calor, proporcionándole al medio un aumento de temperatura y proporcional a éste un aumento de la presión ya que el sistema se encuentra cerrado, por lo que es indispensable disminuir la temperatura antes de agregar la siguiente carga de formaldehído. Esto justifica la adición fraccionada del formaldehído, para prevenir reacciones altamente explosivas.

Gracias a que el reactor utilizado era de vidrio se pudo distinguir la formación de la resina, ya que inicialmente la mezcla es incolora debido al color característico de sus dos principales materias primas, y a medida que la reacción de condensación se va llevando a cabo la mezcla cambia a un color amarillento característico y al mismo tiempo se observa un aumento progresivo de la viscosidad, ambos parámetros indicativos de la formación de resina fenólica.

En la figura 4.3 se muestra el cambio de color característico de la resina fenólica tipo resol.



**Figura 4.3 Resina fenólica tipo resol**

El cambio progresivo de color de amarillento a un color ámbar, representa que la resina alcanzó una alta viscosidad como resultado de un elevado entrecruzamiento de las cadenas poliméricas.

En la etapa de deshidratación se controla la polimerización con un calentamiento controlado para evitar la gelación de la resina, sumado a esto el uso del máximo vacío disponible, permite una deshidratación efectiva del producto disminuyendo el calentamiento.

Uno de los factores más importantes en la producción de resinas fenólicas tipo resol es la continua agitación, ya que se puede ocasionar la formación de algunas zonas muertas generando la gelación de la resina que posteriormente se deposita en el fondo del reactor y además se obtiene una resina con propiedades no homogéneas.

El calentamiento inicial debe ser controlado y debe eliminarse una vez iniciada la reacción de lo contrario se originaría una cadena de reacciones incontroladas.

El sistema de reflujo es otro de los factores fundamentales y debe colocarse antes de iniciar el proceso.

Como se ha mencionado, la generación de calor en el entorno de la reacción origina que el agua presente se empiece a evaporar por lo cual aumenta aún más la temperatura de la condensación, por lo que para contrarrestar los posibles efectos de ésta variación de la temperatura se coloca el sistema de reflujo continuo.

Finalmente, para verificar si el procedimiento implementado fue el adecuado, se realizaron una serie de evaluaciones de las propiedades físicas y químicas de la resina, además se verificaron las especificaciones requeridas.

En el apéndice D se encuentran los reportes aprobados de las evaluaciones las propiedades físicas y químicas de los lotes preparados, así como las especificaciones en las cuales está basado el desarrollo de la misma.

Una síntesis de los resultados obtenidos para al menos 3 de los lotes fabricados en el laboratorio se encuentra a continuación en la Tabla 4.4.

**TABLA 4.4.**  
**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS LOTES**  
**PREPARADOS A ESCALA DE LABORATORIO**

<b>Parámetro</b>	<b>Muestra patrón</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>
<b>Viscosidad @ 25 °C</b> ( $\mu \pm 1$ ) cP	(300 – 400)	520	560	650
<b>Componentes no volátiles</b> ( $C_{NV} \pm 0.1$ ) %	(65.0 – 80.0)	75.0	65.0	60.0
<b>Nivel de alcalinidad @ 25 °C</b> (pH $\pm 0.1$ ) adm.	(8.0 – 9.0)	9.6	8.7	9.0
<b>Tiempo de gelación @ 120 °C</b> ( $t_g \pm 0.1$ ) min	(30.0 – 60.0)	25.0	22.0	19.0
<b>Densidad @ 25 °C</b> ( $\rho \pm 0.01$ ) g / cm <sup>3</sup>	(1.18 – 1.22)	1.09	1.19	1.07

Observando los resultados presentados en la Tabla 4.4, se pudo verificar que la viscosidad obtenida en cada uno de los lotes estudiados fue mayor que la requerida, el hecho de que exista esta diferencia se basa en que la etapa de calentamiento y de deshidratación se prolongaron por un tiempo innecesario, principalmente causado porque el vacío aplicado no cumplió con las condiciones mínimas requeridas por el proceso, lo cual originó un exceso de calentamiento para promover la eliminación del excedente de agua en la reacción, causando de igual forma la diferencia en el tiempo de gelación.



A partir de los resultados registrados anteriormente se puede observar que a medida que aumenta la viscosidad para un mismo tipo de resina, es decir, con la misma relación molar, el tiempo de gelación disminuye, esto corresponde con lo esperado teóricamente ya que esta propiedad representa físicamente el tiempo que tarda la resina en aumentar su viscosidad hasta endurecerse a una temperatura estándar, por lo tanto a mayor viscosidad requiere menos tiempo para alcanzar esta condición.

El nivel de alcalinidad ( pH ) es una propiedad que está directamente relacionada con la concentración del catalizador utilizado, es de esperarse que el pH resultara de naturaleza alcalina ya que el catalizador utilizado es un compuesto donador de iones  $\text{OH}^-$  (básico), es normal que el producto final contenga cierto grado alcalino, el mismo se debe controlar entre (8 – 9).

Uno de los principales objetivos de eliminar el exceso del contenido de agua es precisamente arrastrar los restos de catalizador para disminuir el pH de la resina final. La diferencia de pH encontrados en los lotes fabricados son producto de un problema de control, sin embargo es de resaltar que el objetivo del estudio de la etapa de laboratorio es precisamente descubrir los principales aspectos a controlar que afectan la producción de resinas fenólicas tipo resol, ya que este tipo de variaciones sólo se pueden determinar experimentalmente, además en la escala de laboratorio se hace casi imposible controlar efectivamente los parámetros fundamentales como el calentamiento y el vacío.

El porcentaje de componentes no volátiles disminuye con el aumento de la viscosidad, posiblemente porque para alcanzar una mayor viscosidad se requiere un mayor tiempo de deshidratación para eliminar el contenido de agua en la resina. La densidad de la resina es la propiedad que describe a la resina formada, por lo tanto depende de las proporciones de los componentes utilizados y también del proceso de producción.

La resina debe tener una densidad estimada entre (1180 – 1220) Kg/m<sup>3</sup>, Ver tabla 4.1, observando los resultados para el lote 1 y el 3 los valores fueron inferiores al valor especificado, diferencia que se le puede atribuir a errores en la medición de la propiedad ya que la discrepancia fue muy pequeña, sin embargo, el resultado del lote 2 se encuentra perfectamente dentro del rango especificado, lo que establece que las proporciones de las materias primas utilizadas fueron las adecuadas o por lo menos bastante cercanas al mismo, y que el proceso de producción seleccionado genera resultados confiables, siempre y cuando se controle adecuadamente este proceso.

#### **4.5 ESCALAMIENTO DE LA RESINA FENÓLICA TIPO RESOL A FIN DE EVALUAR SU COMPORTAMIENTO COMO PRODUCTO FINAL.**

Al igual que en la fase experimental a escala de laboratorio en esta etapa se realizaron 3 lotes de resina fenólica tipo resol, manteniendo la composición de la fórmula y controlando las condiciones de operación.

Durante el proceso de producción se observaron situaciones similares a las obtenidas en la fase de laboratorio, tales como la elevación de la temperatura y presión del sistema con cada carga de formaldehído.

Durante el desarrollo de la escala de laboratorio se pudo observar que son considerables el número de variables que afectan el proceso por lo que se hizo necesario realizar el estudio a escala piloto. Se resalta que el escalamiento se creó en base a la materia prima tal que abarcara el volumen del reactor de 50 gal perteneciente a la planta piloto. Para la producción piloto se agrega entre (30 – 40) kg de fenol y entre (40 – 50) kg de solución acuosa de formaldehído al 37%.

La diferencia fundamental entre la experimentación a escala de laboratorio y la escala piloto es el estudio del intercambio térmico, como la reacción es altamente exotérmica de forma exponencial, el comportamiento de la reacción es diferente en

ambas etapas. La policondensación se ve favorecida con el incremento de la temperatura, es decir, que el intercambio de masa se ve aumentado con el comportamiento del entorno, por lo que el estudio a escalamiento piloto permite la profundización de análisis del intercambio térmico del sistema y del uso adecuado del condensador.

Los resultados obtenidos en esta fase fueron bastantes parecidos a los obtenidos en la escala de laboratorio, los cuales se muestran resumidos en la Tabla 4.5. En este caso se pudo observar una gran diferencia en los valores de la viscosidad, no solo con respecto a los obtenidos en la escala de laboratorio sino también se puede verificar que los valores se encuentran muy por debajo del rango especificado.

Este fenómeno se puede explicar puesto que la viscosidad es una propiedad muy difícil de controlar en las resinas, ésta no varía proporcionalmente con el tiempo, por el contrario tiene un comportamiento impredecible ya que en cuestión de pocos minutos lograría alcanzarse una viscosidad tan alta que podría gelarse dentro del reactor dificultando la limpieza del mismo y dañando por completo el producto y en algunos casos ocasionar la pérdida del reactor.

El sistema de vacío empleado en esta etapa garantizó las condiciones de operación para llevar a cabo la deshidratación óptima de la resina. La diferencia de los valores de la viscosidad dependieron únicamente de la apreciación del operador, el cual debió tomar la decisión de cuando descargar o no el producto.

Otro factor importante es la capacidad de enfriamiento del serpentín interno, para los efectos de la transferencia de calor necesaria para alcanzar el grado de enfriamiento, el serpentín instalado en el reactor fue insuficiente, lo cual hizo que la resina se descargara antes del tiempo previsto para evitar los problemas antes mencionados.

**TABLA 4.5.**  
**PARÁMETRO FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LOS LOTES**  
**PREPARADOS A ESCALA PILOTO**

<b>Parámetro</b>	<b>Muestra patrón</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>
<b>Viscosidad @ 25 °C</b> ( $\mu \pm 1$ ) cP	(300 – 400)	160	133	250
<b>Componentes no volátiles</b> ( $C_{NV} \pm 0.1$ ) %	(65.0 – 80.0)	70.0	72.3	60.0
<b>Nivel de alcalinidad @ 25 °C</b> (pH $\pm 0.1$ ) adm.	(8.0 – 9.0)	9.5	8.9	9.3
<b>Tiempo de gelación @ 120 °C</b> ( $t_g \pm 0.1$ ) min	(30.0 – 60.0)	34.0	36.5	29.0
<b>Densidad @ 25 °C</b> ( $\rho \pm 0.01$ ) g / cm <sup>3</sup>	(1.18 – 1.22)	1.15	1.10	1.02

Las resinas fenólicas del tipo resol tienen una ventaja en este aspecto, ya que éstas siguen reaccionando a condiciones ambientales, lo que permiten que alcancen la viscosidad necesaria para su aplicación, lo que a su vez se puede considerar una desventaja ya que el tiempo de vida útil de la resina es limitado.

Con respecto al tiempo de gelación todos los lotes se encontraron dentro de rango lo cual fue una consecuencia de la baja viscosidad de la resina expuesta anteriormente.

Las resinas obtenidas de los lotes de la escala piloto fueron consideradas por el departamento de investigación y desarrollo, para ser utilizadas en 1 de las líneas de producción de la empresa que es la de producción de barnices y el producto obtenido supero las expectativas de calidad dentro de la organización, razón por la cual se pudo establecer la hoja de especificaciones del producto.

En la tabla 4.6 se muestra la hoja de especificaciones del producto.

**TABLA 4.6.**  
**PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LAS RESINAS FENOLICAS TIPO RESOL**  
**DE RESINAS MULTIPLES S.A**

<b>Parámetro</b>	<b>Muestra de Resinas Múltiples</b>
<b>Viscosidad @ 25 °C</b> ( $\mu \pm 1$ ) cPs	(130 - 280)
<b>Componentes no volátiles</b> ( $C_{NV} \pm 0.1$ ) %	(60.0 – 80.0)
<b>Nivel de alcalinidad @ 25 °C</b> (pH $\pm 0.1$ ) Adm.	(8.5 – 9.5)
<b>Tiempo de gelación @ 120 °C</b> ( $t_g \pm 0.1$ ) min	(25.0 – 50.0)
<b>Densidad 25 °C</b> ( $\rho \pm 0.01$ ) g / cm <sup>3</sup>	(1.00 – 1.20)

Finalmente se lograron fijar las condiciones de operación para la producción de resinas fenólicas tipo fesol en base a los lotes fabricados en las etapas anteriores, quedando definido de la siguiente forma:

- ✓ Relación molar de fenol – formaldehído entre 1:1 y 1:3.
- ✓ Sistema de reflujo total.
- ✓ Agitador de palas.
- ✓ Calentamiento de aceite.
- ✓ Vacío mínimo de 24 “Hg.

## **4.6 DISEÑO DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA RESINA FENÓLICA TIPO RESOL A ESCALA INDUSTRIAL CON LA FINALIDAD DE SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS DEL MERCADO.**

Debido a que la producción depende de la capacidad de la línea de producción determinada anteriormente y la aforo del reactor, se estableció una producción diaria de 2500 kg de resina fenólica tipo fenol, que posteriormente serían envasados en tambores sellados con una capacidad aproximada de 200 kg cada uno.

En base a la capacidad de producción y a las condiciones de operación evaluadas en las etapas anteriores, se realizó el dimensionamiento de los equipos necesarios para la instalación de la planta.

A continuación se describen las especificaciones técnicas de los equipos:

### **4.6.1 Reactor**

La empresa contó con la disponibilidad de un reactor destinado a la creación de la línea de producción de resinas fenólicas tipo resol, es decir, el dimensionamiento de este equipo no fue necesario, sólo se realizó una evaluación de las características del diseño del mismo para verificar si se adaptaba a los requerimientos de la producción.

El reactor que se dispone es específico para llevar a cabo una policondensación y posterior una etapa de deshidratación. En la tabla 4.7 se muestran los datos específicos del equipo del cual se dispone.

El reactor es alimentado con una carga de fenol, formaldehído, catalizador y metanol que representan el 66% del volumen total del reactor.

La mezcla puede alcanzar viscosidades aproximadas de 2500 a 2800 cP y temperaturas superiores a 373.15 K originándose vapor de agua que debe ser reflujo al reactor durante la etapa de condensación. Las presiones en el reactor pueden llegar a 50 psi. Con las características anteriormente expuestas se verificó que el reactor cumplió con las condiciones necesarias para obtener satisfactoriamente el producto y el mismo efectuó los requerimientos óptimos de calidad señalados por la empresa.

**TABLA 4.7**  
**DIMENSIONES DEL REACTOR**

<i>Características</i>			
<i>Dimensiones</i>		<i>Diseño</i>	
Diámetro interno	1.7m	Material	SS 304
Diámetro externo	1.8 m	Presión de diseño:	75 psi
Altura	2.4 m	Presión de la chaqueta	150 psi
Espesor de la pared	0.005 m	Presión máxima del reactor	125 psi
Espesor de la placa deflectora	0.18	Presión máxima de la chaqueta	265 psi
		Temperatura máxima	350 °F

#### 4.6.2 Condensador

El condensador constituyó uno de los equipos más importantes dentro del sistema de producción de resinas fenólicas tipo resol, ya que mantuvo controlada la temperatura del proceso en todo el sistema. En la etapa inicial del proceso de producción cumplió con la función de condensar el vapor de agua y retornarlo al sistema para evitar la elevación de presión y temperatura dentro del reactor. En la segunda etapa del proceso, es decir, en la etapa de deshidratación de la resina el condensado fue desviado a un tanque recolector y de este modo se evitó que la bomba de vacío conectada al sistema manipulara dicho condensado.

El condensador recomendado es de tubo y coraza, con la condensación del vapor por los tubos, es alimentado con el vapor de agua prácticamente puro proveniente de la reacción. El proceso de producción de resinas fenólicas tipo resol en general implicó una reacción altamente exotérmica, en la cual, se generaron elevadas temperaturas por lo que el agua presente en el sistema fue evaporada y debió ser retornada al sistema para mantener condiciones estables y evitar posibles explosiones por la elevación brusca de la presión en el reactor.

El punto de ebullición del fenol está por encima de los 453.15 K y la concentración del formaldehído fue consumida rápidamente en la reacción, de igual forma la concentración del catalizador fue despreciable con respecto a la masa del vapor, lo cual justificó la suposición de que el gas que debió ser condensado fue prácticamente vapor de agua puro, por lo cual el condensador se dispuso en forma horizontal y un poco inclinado para aprovechar la gravedad a la hora de retornar el condensado al sistema; se trabajó en contracorriente para aumentar la eficiencia del mismo.

La condensación del vapor de agua sobrecalentado se realizó por los tubos debido a las condiciones de temperatura y presión que se manejaron en el sistema, tales como bajas presiones y temperaturas inferiores a los 673.1 K y con alta tendencia a ensuciarse. El arreglo de los tubos se realizó preferiblemente de forma triangular para aumentar la turbulencia en el flujo de refrigerante y por lo tanto aumentar la transferencia de calor.

El calor generado por el sistema debido a la reacción es el calor necesario para que el agua contenida en el sistema pase a la fase de vapor, por lo tanto esta cantidad de calor debe ser removida del sistema por el intercambiador de calor para condensar el vapor de agua.



En este caso el flujo de vapor que circula por el condensador se considera un valor promedio de la masa total de agua agregada al sistema y posteriormente producida.

Es importante recordar que las materias primas principales, es decir, el fenol y el formaldehído se adicionaron en soluciones acuosas que van desde un 2% a un 63% de contenido de agua, adicionalmente se agregó agua al sistema para compensar la elevación de temperatura producto de la reacción de metilolación y condensación.

En la reacción de condensación, en la cual se forma el polímero o la resina como tal, se liberó 1 mol de agua por cada mol de fenol que reaccionó, de este modo el contenido de agua aumentó dentro del sistema a medida que se estaba llevando a cabo la reacción.

Al sumar el contenido total de agua y dividirlo por el tiempo de reacción de aproximadamente 6 horas, se obtuvo un flujo de vapor promedio por tiempo de reacción de 0.056 kg/s.

Para el cálculo de las dimensiones del condensador se supuso vapor saturado a la presión del sistema, donde la máxima presión alcanzada durante el proceso de producción de resinas fenólicas tipo resol fue de 445400.0 Pa (64.6 psi), a esta presión le corresponde una temperatura de saturación de 420.65 K.

La temperatura de salida del condensado es un dato experimental, obtenida mediante la medición de la temperatura del agua a la salida de condensador en los lotes de resina fenólicas tipo resol fabricados a escala de laboratorio y escala piloto, dando una temperatura promedio de salida de 359.15 K. A continuación se presenta una tabla resumen de los valores obtenidos.

El calor que debió ser retirado por el condensador para que el vapor cambiara de fase es estimado aplicando un balance global de energía en el fluido caliente (vapor de agua), evaluando las propiedades físicas a la temperatura de entrada del vapor. Para este caso se obtuvo un flujo de calor de 6769.28 J/s.

**TABLA 4.8**  
**TEMPERATURAS DE SALIDA DEL CONDENSADO**

<b>Numero de lote</b>	<b>Temperatura de salida del condensado (<math>T_{SC} \pm 0.05</math>) K</b>
1	359.15
2	360.15
3	359.15
4	359.15
5	359.15
6	359.15

Se seleccionó agua como fluido refrigerante, considerando aspectos económicos y su facilidad de obtención, además, vale la pena mencionar que la planta contaba con un torre de enfriamiento capaz de suministrar agua a una temperatura aproximada de 293.15 K, el flujo fue un dato suministrado por los operadores de la planta y se obtuvo a partir del área de flujo de la tubería y la velocidad de bombeo de la torre de enfriamiento, para finalmente obtener un flujo de agua de 24 kg/s. La temperatura de salida del agua de enfriamiento se calculó igualmente, realizando un balance global de energía en el fluido frío, suponiendo un calor específico constante evaluado a 373 k y que no existió cambio de fase. La variación de la temperatura de salida del agua fue 66.60 K para una temperatura de salida del agua de enfriamiento de 359.75 K.

Una vez obtenidas las condiciones de operación del condensador , el cálculo del área de transferencia y en consecuencia el arreglo de tubos se obtuvo utilizando un proceso iterativo el cual comenzó con la suposición de un área de transferencia y se conoce como el método DTML (Diferencia de Temperatura Media Logarítmica). El diámetro del tubo fue seleccionado como 0.019 m (3/4 ``), debido a que éste es el diámetro de tubo más utilizado a escala industrial.

El coeficiente convectivo de flujo interno ( $h_i$ ), fue calculado mediante la correlación de Dittus – Boelter aplicable a flujo turbulento en tubos circulares. El número de Reynolds obtenido fue de 1019.01 para dar un número de Nusselt de 5.95 y finalmente el valor del coeficiente convectivo interno fue de  $10225.81 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Por otro lado el coeficiente convectivo reflujo externo ( $h_e$ ), fue calculado aplicando la correlación de Grimson, aplicable a través del banco de tubos incluyendo el factor de corrección para fluidos distintos al aire. En éste caso es importante el arreglo de los tubos y la velocidad máxima de flujo. El número de Reynolds obtenido fue de 6.71 para dar un número de Nusselt de 1.54 y finalmente el valor del coeficiente convectivo externo de  $48.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Las dimensiones obtenidas para el condensador se muestran en la tabla 4.9 que se presenta a continuación.

**TABLA 4.9**  
**DIMENSIONES DEL CONDENSADOR**

<i>Características</i>			
<i>Dimensiones</i>		<i>Diseño</i>	
Diámetro interno de la coraza	21.25 in	Área de transferencia de calor	372.61 ft <sup>2</sup>
Diámetro interno de los tubos	0.61 in	Numero de tubos	318
Diámetro externo de los tubos	¾ in	BWG	15 in
Longitud del condensador	1.82 m	Pitch	1 in
Espesor del tubo	0.072 in	Arreglo	Triangular

### 4.6.3 Agitador.

El agitador diseñado para el proceso de producción de resinas fenólicas tipo resol es de tipo turbina de 6 palas inclinadas  $45^\circ$ , con doble propela y placas deflectoras para asegurar una agitación homogénea durante todo el proceso, ya que este tipo de agitador promueve la agitación uniforme en mezclas con altas viscosidades.

La inclinación de las paletas es recomendada en distintas bibliografías de producción de resinas debido a que esta disposición disminuye la formación de zonas muertas en el fondo del reactor, evitando así una posible gelación de la resina.

Las dimensiones del agitador fueron seleccionadas según los parámetros de diseño de los sistemas de agitación los cuales se presentan en la teoría, y considerando la presencia del serpentín interno del reactor. El material de construcción recomendado fue el acero inoxidable tipo SS 304 o 316, debido al contacto directo con sustancias altamente corrosivas como el fenol.

En este caso sólo se ha diseñado el mecanismo de agitación y se ha establecido la potencia mínima necesaria que requiere el motor para garantizar las condiciones de operación del proceso.

Adicionalmente se requiere seleccionar el tipo de motor y una caja reductora que permita regular la velocidad de agitación, dichas especificaciones son suministradas por el proveedor del sistema de agitación.

Para el cálculo del agitador se supuso que el sistema se hallaba en su viscosidad máxima, para así garantizar una agitación uniforme durante todo el proceso de producción.

La viscosidad máxima permisible dentro del reactor fue de 10 kg/m.s y la rapidez angular del agitador no debió ser mayor que 10.43 rad/s para evitar decoloraciones en la resina.

De igual forma puede evitarse una agitación excesivamente lenta ya que no se alcanzaría la transferencia de calor apropiada aumentando el tiempo de calentamiento y por lo tanto alternando las propiedades de la resina.

A continuación en la tabla 4.9 se muestra en forma resumida las características del agitador, en el apéndice H se muestran las hojas de especificaciones de todos los equipos involucrados en el desarrollo de este estudio.

**TABLA 4.10**  
**DIMENSIONES DEL AGITADOR**

<i>Características</i>			
<i>Dimensiones</i>		<i>Diseño</i>	
Diámetro (m)	0.9 m	Velocidad del agitador	99.6 rpm
Altura del fondo del tanque (m)	0.22 m	Potencia del motor (rpm)	10 HP
		Espesor del impulsor (Hp)	0.11 m
		Espaciado de los impulsores: (m)	0.81 m

#### 4.6.4 Bomba de Vacío

Las bombas de vacío de anillo líquido son quizás las de mayor uso a nivel industrial. En este equipo de bombas una turbina o rotor porta aspas que giran en el interior del cuerpo, está parcialmente sumergido en el fluido, normalmente el agua por efecto centrífugo, forma un anillo alrededor de la coraza.

El anillo de agua así formado en conjunto con el rotor establece una serie de cámaras delimitadas en las aspas de la turbina por lo tanto el anillo no varía, por el contrario si la turbina es excéntrica en proporción al cuerpo el volumen irá cambiando. Este aumento y disminución del volumen produce la succión, arrastre y expulsión del aire. El anillo líquido sale en la parte derecha y entra en la parte izquierda como un pistón líquido, en las caras laterales del cuerpo existen dos puntos abiertos, el aire es aspirado por el incremento de gas en las cámaras y expulsado cuando decrece. Este tipo de bombas no posee válvulas, la entrada y la salida del flujo de aire es arrastrado y controlado por el movimiento del conjunto rotor – aspas y su posición frente a los puertos de entrada y salida producen un flujo casi continuo, libre de intermitencias y poca vibración.

La bomba de vacío fue utilizada en el proceso de deshidratación de la resina, para eliminar el contenido de agua en exceso producida durante la etapa de condensación. Se seleccionó una bomba de vacío de anillo líquido, por ser piezas extremadamente confiables para producir vacío en un rango de 15 – 29” Hg, en consecuencia, este tipo de bombas están en la capacidad de manejar concentraciones muy altas de vapores condensables o pequeñas cantidades de líquidos sin dañar la bomba. Adicionalmente son relativamente menos costosas que otro tipo de bombas ya que poseen menos partes sujetas al desgaste.

El efecto de vacío en el sistema permite disminuir el periodo de calentamiento, al reducir el punto de ebullición del agua contenida en la resina, evitando que la misma adquiera viscosidades muy elevadas hasta llegar al punto de gelación sin haber alcanzado la máxima eliminación del contenido de agua.

El fluido de sello seleccionado fue el agua debido a sus múltiples ventajas económicas y de accesibilidad, el sistema de recuperación del fluido de sello seleccionado es parcial, es decir, que un porcentaje del agua expulsada por la bomba

es reciclada a la misma, el porcentaje restante es destinada a otros procesos. Un aspecto importante a considerar en el consumo de agua, datos suministrados por los fabricantes de bombas de vacío, es que proporcionan un consumo promedio de  $2.52 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , la temperatura del agua que forma el anillo debe estar en el orden de 291.15 K y debe ser muy estable, ya que cuando suceden variaciones de 2 a 3 grados se presenta un rompimiento drástico de la capacidad de nivel de vacío.

La bomba requiere un pulmón de vacío, es decir, un tanque que almacene el condensado; La bomba estuvo ubicada a la salida del condensador y operó durante un período de aproximadamente 4 horas, en las cuales existió la posibilidad de arrastrar algo de resina por efecto del vacío creado, originando inconvenientes en el funcionamiento tanto en el condensador así como en la misma bomba de vacío.

Para evitar inconvenientes en el funcionamiento se hizo necesario la presencia de un tanque al cual le llegara cierta cantidad de condensado y que fuese capaz de suministrar aire suficiente para crear el vacío necesario sin arrastrar la resina, una vez alcanzado cierto nivel de líquido condensado, éste es descargado para liberar el pulmón y garantizar el suministro de aire a la bomba.

**TABLA 4.11**  
**DIMENSIONES DE LA BOMBA DE VACÍO**

<i>Características</i>			
<i>Dimensiones</i>		<i>Diseño</i>	
Largo	1.35 m	Sistema de recuperación	Parcial
Ancho	0.51 m	Rango de vacío	0-91432.48 Pa
Alto	1.02 m	Velocidad de retiro	0.1 m <sup>3</sup> /s
Peso	272.16 Kg	Potencia de motor	15 HP
		Velocidad de la bomba	170 rpm

#### 4.6.5 Serpentín Interno

El reactor cuenta con un serpentín interno en forma de espiral, este cumplió la función principal de enfriamiento en la etapa final de producción de resinas fenólicas tipo resol. Este tipo de resina es altamente reactiva con el calor debido a la presencia de fenol en exceso, esta característica la convierte en una resina con un período de vida útil corto, debido a que sigue reaccionando y continuamente va aumentando su viscosidad y va perdiendo las propiedades físicas y químicas características de su aplicación, por esta razón debe ser violentamente enfriada antes de ser descargada y almacenada para el consumo.

Basándose en el serpentín que está instalado en el reactor, se realizó el cálculo del flujo del refrigerante necesario para disminuir la temperatura de la resina en 30 K en un período de tiempo no mayor de 30 minutos. En primer lugar se obtuvo el calor que debe ser retirado de la misma mediante un balance global de energía, el calor específico ( $C_p$ ) de las resinas resulta complejo de determinar debido a que varía ampliamente según las condiciones de operación, incluso si son fabricadas bajo el mismo proceso, por esta razón se puede tomar un  $C_p$  aproximado al de un aceite mineral obteniéndose de esta forma resultados confiables. Finalmente se realiza un balance de energía en el fluido frío para obtener el flujo de refrigerante necesario. Los parámetros establecidos se muestran en la tabla 4.12.

**TABLA 4.12**  
**ESPECIFICACIONES DEL SERPENTIN INTERNO**

Característica	Especificación
Diámetro externo ( $D_{es} \pm 0.001$ ) m	0.092
Numero de vueltas	10
Fluido refrigerante	Agua
Velocidad de flujo ( $V_{fs} \pm 0.01$ ) Kg/s	9.51
Tiempo de operación ( $t_{os} \pm 1$ )	1200-1800



#### **4.7 ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA ESTIMAR LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO.**

Conocer los costos e ingresos de una inversión que ocurrirá en un futuro, es uno de los problemas más difíciles que enfrenta un profesional en el desarrollo de un proyecto, donde el ingeniero debe tener conocimientos suficientes para poder estimar los costos y determinar si estas condiciones económicas hacen realizable el proyecto, el cual se invierta una cierta cantidad de dinero para montar una planta y fabricar un determinado producto.

En esta sección se presenta el perfil de entradas y salidas de dinero de la empresa durante el período de análisis económico que fue establecido para 10 años (2007-2016) con el objeto de estudiar y contemplar la variabilidad económica de la actividad productiva y tener concepción de los movimientos monetarios (tanto de entradas como de salidas a esperar); el mismo viene orientado por un balance de flujos (flujo de caja) el cual se muestra a continuación:

##### **Estimación de los flujos de ingresos y egresos.**

El flujo de caja obtenido para la planta de producción de Resinas Fenólicas tipo Resol se presenta en la tabla 4.13.

Es importante señalar que los flujos calculados para cada año recogen el total de ingresos y egresos estimados y en cada caso se observan positivos gracias a que la actividad productiva a desarrollar genera mayor cantidad de ingresos totales que los egresos producidos, excepto del "AÑO 0" donde se realizará la inversión inicial y no se tendrán ingresos por ventas o servicios para este año, por ello se aprecia negativo.

**TABLA 4.13.**
**FLUJO DE CAJA DE LA PRODUCCIÓN DE RESINAS FENÓLICAS TIPO RESOL**

<b>Año</b>	<b>Flujo de caja (F<sub>C</sub> ± 1) M\$</b>	<b>Año</b>	<b>Flujo de caja (F<sub>C</sub> ± 1) \$</b>
2007	-1173	2012	4023
2008	1078	2013	4874
2009	1745	2014	5771
2010	2459	2015	6714
2011	3218	2016	7702

Las premisas consideradas para el cálculo de los ingresos y egresos que integran cada flujo se expondrán en las secciones correspondientes. Por otro lado es de acotarse que la correspondencia del estudio es del año 0 corresponde al 2006, y el año 10 corresponde al 2016.

**Estimación de ingresos**

Entre los ingresos tenemos las ventas generadas del producto para cada año correspondiente al horizonte económico.

Para determinar las ventas en los 10 años de estudio, se empleó el precio promedio (el cual permaneció constante para cada año) y las toneladas métricas de nuestra planta diseñada anteriormente (1100.0 TM) el cual permaneció constante hasta el 2016. El precio promedio de la resina fenólica tipo resol para el primer año (2007) fue de 3.5 \$/Kg., el cual se fue incrementando paulatinamente por cada año hasta culminar el horizonte económico (2016), tomando en cuenta que el valor máximo registrado es de 5 \$/ Kg. Todas estas consideraciones se muestran en la Figura 4.5 en donde se evidencia de una forma más clara lo antes mencionado.

**TABLA 4.14.  
INGRESOS**

Año		Ingresos (ventas)			Año		Ingresos (ventas)		
		TM	\$/TM	M\$			TM	\$/TM	M\$
0	2007	0	3500	0	6	2013	1378	4400	6062
1	2008	600	3650	2190	7	2014	1533	4550	6977
2	2009	756	3800	2871	8	2015	1689	4700	7938
3	2010	911	3950	3599	9	2016	1844	4850	8946
4	2011	1067	4100	4373	10	2017	2000	5000	10000
5	2012	1222	4250	5194					

Para el año 2007 los ingresos equivalen a 0 Bs. ya que es el año de diseño, por lo tanto aun no existe la producción de la Resina Fenólica tipo Resol.

- **Estimación de egresos**

Se tomaron en cuenta todos los aspectos relacionados con salida de dinero entre los cuales se pueden mencionar.

- ✓ Adecuación de infraestructura
- ✓ Operación productiva
- ✓ Pago de tributos al gobierno

- **Clasificación de los egresos**

1. Inversión
2. Costos de producción
3. Impuestos sobre la renta

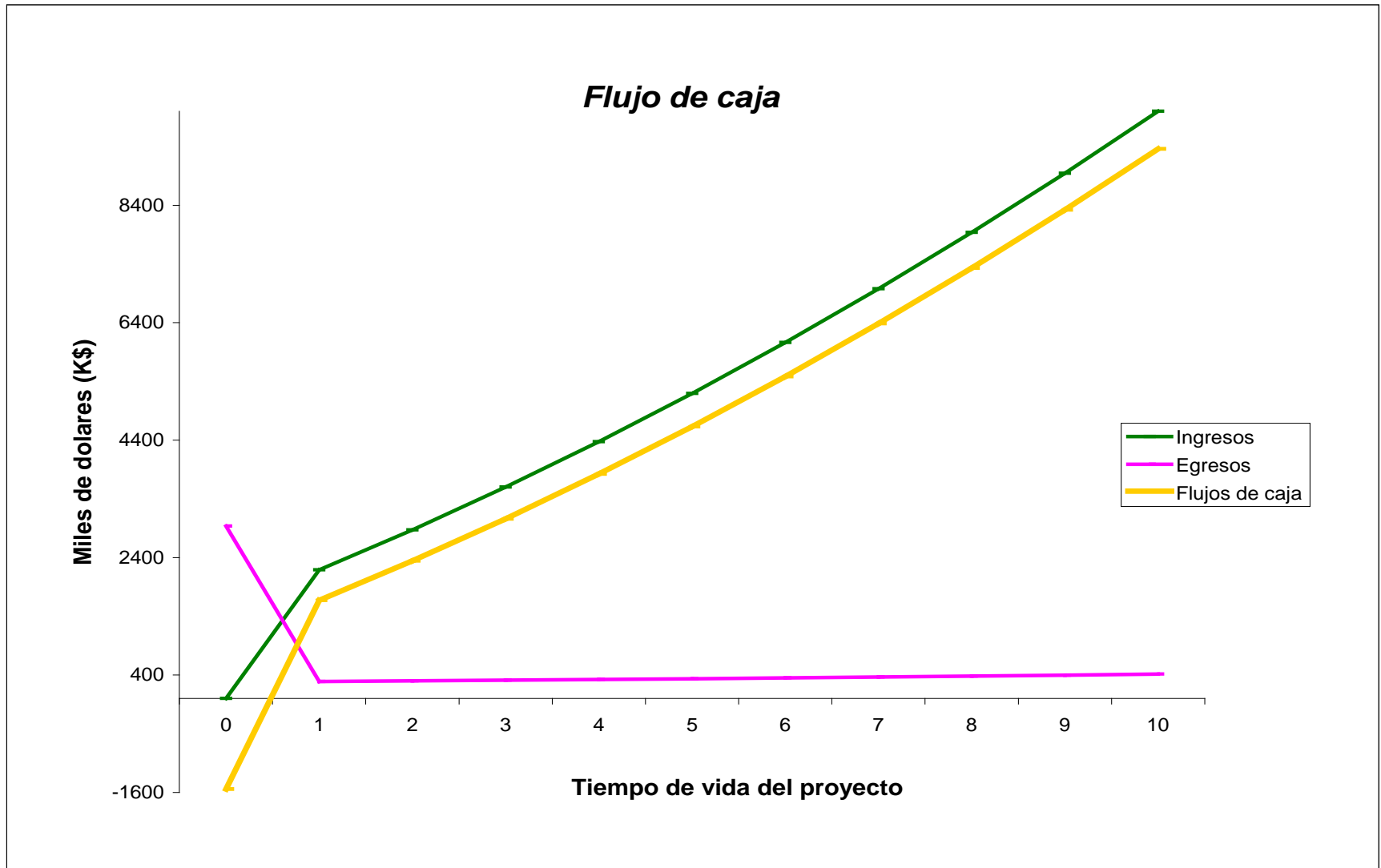


Figura 4.2. Flujo de caja durante el tiempo de vida del proyecto. (Bakelite. 2000).

## Capital fijo

En este aspecto se tomaron en consideración los siguientes contextos de gastos:

- a) Costos de tubería
- b) Costo de estudio y proyectos
- c) Costo de supervisión y entrenamiento
- d) Costo de Arranque pruebas y contingencia

Los resultados pertenecientes a los demás años restantes del horizonte económico de los costos fijos, se evidencian en el APENDICE I.

**TABLA 4.15**  
**COSTOS FIJOS**

Descripción		Costos (\$)
<b>Equipos principales</b>	Condensador	50000
	Agitador	35000
	Bomba de vacío	15000
	Serpentín	16500
Acondicionamiento del terreno		14563
Edificaciones		29125
Instrumentación y control		15145
Tuberías		20096.
Equipos eléctricos		11650
Estudio y proyecto		64075
Supervisión y entrenamiento		2330
Arranque, Pruebas y contingencias		17685
<b>Capital fijo (\$)</b>		<b>286042</b>

## Capital de trabajo

Cantidad de dinero que en teoría en cualquier momento se puede recuperar totalmente. Este se puede estimar calculando los costos que se presentan a continuación.

- a) Costo de inventario de materia prima
- b) Costo inventario de producto
- c) Costo de inventario de repuestos
- d) Costo por salarios
- e) Efectivo en caja

Los resultados pertenecientes Al tiempo de estudio referente del horizonte económico del capital de trabajo, se evidencian en el APENDICE I. Los resultados obtenidos como capital de trabajo se muestran en la tabla 4.16

**TABLA 4.16**  
**CAPITAL DE TRABAJO**

<b>Descripción</b>	<b>Costo \$</b>
Inventario de materia prima	114833
Inventario de producto	375000
Inventario de repuestos	17475
Salarios	4640
Efectivo en caja	375000
<b>Capital trabajo (\$)</b>	<b>886948</b>

## Costos de producción

Entre los componentes para calcular los costos de producción se tienen:

- a) Materias primas
- b) Aditivos y catalizadores
- c) Operadores de planta
- d) Supervisor de turno
- e) Laboratorio

## Costos indirectos

- a) Seguros
- b) Seguridad y protección, servicios médicos, mantenimiento general y gastos otros

Los resultados pertenecientes al estudio del horizonte económico del capital de producción, se evidencian en el APENDICE I. En la tabla 4.17 se muestran los egresos por concepto de capital de producción.

**TABLA 4.17  
CAPITAL DE PRODUCCIÓN**

<b>Costos directos</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo \$</b>
Materias primas	3828
Servicios industriales	995
Operadores de planta	34887
Supervisor de turno	5233
Materiales y mantenimiento	7105
Laboratorio	4012

**TABLA 4.17 (continuación)**  
**CAPITAL DE PRODUCCIÓN**

<b>Costos indirectos</b>	
Seguros	3552.4345
Seguridad, protección, etc	3552.4345

### Préstamo

Se estableció un préstamo referido por el Ministerio de Ciencia y Tecnología con una tasa fija del 10 % y dos años de gracia, en donde se estableció la condición de pagar a los trabajadores el 5 % de las ganancias de los costos fijos. El estado presto el financiamiento de unos 3000 millones de bolívares, mientras que el resto de la inversión inicial fue suministrado del capital de la empresa.

Todos los aspectos relacionados con el préstamo incluyendo las tasas de interés preestablecidas anteriormente, se evidencian en la tabla I.2 del APENDICE I.

### Estimación del impuesto sobre la renta

El enriquecimiento resultó ser mayor a las 3000 UT por lo que se tomó una tasa de 34 % y un sustraendo igual a 500, como se encuentra referido en la tabla I.6 del apéndice I. Se supuso que el dólar tiene un precio de 2500 Bolívares y el costo de una unidad tributaria es 33. 600 Bs. (Gaceta oficial N° 38350, Servicio Nacional Integrado de Administración Aduanera y Tributaria (Seniat), (4-01-2006). Los ingresos, costos de producción, el enriquecimiento, el I.S.L.R, flujos monetarios etc., se pueden observar en el apéndice I.

Los resultados pertenecientes a los demás años restantes del horizonte económico de impuesto sobre la renta, se evidencian en la tabla I.3 del APENDICE I.



#### 4.7.4 DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y RENTABILIDAD DEL PRODUCTO

Existen varios métodos para expresar numéricamente el rendimiento financiero de un producto. En algunos casos, uno solo de ellos es suficiente, pero en otros casos será necesario más de una de estas expresiones para concluir sobre los estudios de evaluación de un proyecto.

##### Valor Presente Neto (VPN)

Representa la sumatoria de los flujos de cajas, en sus valores equivalentes al primer segmento del Horizonte Económico.

De la siguiente expresión matemática podemos concluir que:

$VPN < 0$	→	actividad productiva no recomendada.
$VPN = 0$	→	actividad productiva no atractiva.
$VPN > 0$	→	actividad productiva atractiva.

En la tabla 4.18 se muestra el valor del VPN obtenido durante todo el tiempo de vida del proyecto.

Sustituyendo los valores del flujo de caja obtenidos para el horizonte económico que fueron calculados anteriormente obtenemos un valor del **VPN** de:

$$VPN = 17420 \text{ K\$}$$

Lo que nos indica que estamos en presencia de una actividad productiva atractiva

## Tasa Interna de Retorno (TIR)

Representa la tasa porcentual a la cual la actividad productiva no es atractiva (VPN=0) y se calcula de la siguiente manera:

De la siguiente expresión matemática podemos concluir que:

TIR < 1 → actividad productiva no recomendada.

TIR > 1 → actividad productiva atractiva.

Sustituyendo los valores del flujo de caja que fueron calculados anteriormente obtenemos un valor del **TIR** de:

$$TIR = 102 \%$$

Lo que nos indica que estamos en presencia de una actividad productiva atractiva

**TABLA 4.18**  
**VALOR PRESENTE NETO**

<b>AÑO</b>	<b>Flujo de caja (K\$)</b>	<b>VPN(K\$)</b>
0	-1542	-1542.2
1	1617	1381.7
2	2269	1657.8
3	2967	1852.6
4	3709	1979.18
5	4495	2050.23
6	5326	2076.2
7	6201	2066.2
8	7120	2027.6
9	8083	1967.3
10	9147	1902.9

En este análisis se pretendió explicar cómo los cambios en la estructura social y los mercados contribuyen de alguna manera en el desarrollo económico de esta investigación.

El análisis del flujo de caja o balance económico sirvió para determinar problemas de liquidez en el proyecto, en vista de que el ser rentable no significa necesariamente poseer liquidez; la compañía pudo o no tener problemas de efectivo y aún así ser rentable pudiendo anticipar los saldos en dinero.

Los flujos de caja también ayudaron a estudiar la viabilidad del proyecto de inversión, ya que fueron estos mismos flujos de fondo la base del cálculo de los indicadores económicos usados como lo son el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

En consiguiente, el balance económico o flujo de caja aplicado a nuestro horizonte económico o período de tiempo durante el cual se llevó a cabo el proceso, resultó positivo desde el segundo año de inversión y resultó negativo en el primer año, sabiendo que este balance mide las diferencias de entradas y salidas respectivamente y en nuestro año cero (inversión inicial) no existió ganancia alguna.

En los cálculos de los ingresos para efectos del balance económico, no se incluyeron los provenientes de servicios industriales, ya que la empresa reutiliza todos los beneficios que ésta produce imposibilitando la venta de los mismos; se establecieron políticas de precios que fueron negociadas con los proveedores y el Departamento de Producción y Control de la empresa.

No se hizo estimaciones del VAI o precio al cual vendería un competidor local su producto si es traído del exterior, ya que como parte de los objetivos estuvieron el de

disminuir el número de importaciones que se habían estado haciendo, con el fin de aumentar la producción y con esto los ingresos de la empresa.

En cuanto a los egresos, se puede concluir que van disminuyendo al paso de los años, lo cual representa una condición favorable para llevar por buen camino la inversión, garantizando así un balance siempre positivo y una factibilidad efectiva.

Vale la pena destacar que el gobierno facilitó un préstamo de más de 3 mil millones de Bolívares con una tasa fija del 10 % sin límite de tiempo, con la cual se logró llevar a cabo gran parte del proyecto, financiando el costo de los equipos y todas las demás inversiones para el cumplimiento de los objetivos anteriormente planteados.

En cuanto a la factibilidad del proyecto y tomando en cuenta los valores arrojados por los indicadores económicos, se puede concluir que es factible la realización del mismo, ya que ambos valores indicativos resultaron con un valor mayor que 1, dato justo y necesario para tomar alguna decisión al respecto.



## CONCLUSIONES

A continuación se puntualizan las conclusiones posteriores a la realización de esta investigación:

En cuanto al Objetivo 2, se concluye lo siguiente:

- La demanda de resinas fenólicas tipo resol es mucho mayor que la oferta nacional, las importaciones se mantienen en constante aumento.
- La capacidad de la planta se estimó en 1680 TM anuales.

En cuanto al Objetivo 3, se concluye lo siguiente:

- La tecnología más idónea es la de producción por aprovechamiento térmico.
- El procedimiento que mejor adapta a las necesidades de mercado es la producción por carga o batch.

En cuanto al Objetivo 4 y 5, se concluye lo siguiente:

- A medida que avanza la reacción ocurre un incremento de la temperatura y un cambio de color, lo cual indica que se está formando la resina.
- La calidad del catalizador influye en el rendimiento de la reacción.
- El control exhaustivo del intercambio térmico es el aspecto fundamental dentro del proceso de manufactura de resinas fenólicas tipo resol.

- Una agitación muy violenta produce la decoloración de la resina y altera las propiedades físicas de la misma.
- Un vacío adecuado disminuye el tiempo de deshidratación y garantiza una eliminación óptima del contenido de agua de la resina.
- La recirculación del condensado del vapor de agua permite mantener las condiciones de presión y temperatura óptimas dentro del sistema.

En cuanto al Objetivo 6, se concluye lo siguiente:

- El condensador más adecuado es el de tubo y coraza de 1 solo paso por los tubos.

En cuanto al Objetivo 7, se concluye lo siguiente:

- El proyecto es factible ya que el VPN así lo indica.
- Los flujos de caja para el tiempo de vida del proyecto indican que el proyecto genera un margen de ganancia positivo.

## RECOMENDACIONES

Con el fin de mejorar el proceso de producción de resinas fenolicas tipo resol en Resinas Múltiples S.A., se ha considerado prudente recomendar lo siguiente:

- La producción de resinas fenólicas tipo resol debe ser llevada a cabo muy cuidadosamente para garantizar que el producto final tenga las propiedades requeridas por el consumidor.
- La agitación no debe ser muy lenta para evitar de esta forma la gelación de la resina en el fondo del reactor.
- Al garantizar la adición continua del catalizador se reduce las posibilidades de descontrol de la reacción.
- El condensador se coloca inclinado para aprovechar la fuerza de gravedad y aumentar la eficiencia del mismo.
- El hecho de que el material de los equipos principales sean acero inoxidable, asegura parámetros de calidad óptimos, ya que éstos no están expuestos a peligros por corrosión y no afecta las características del producto.
- Cambiar el fluido refrigerante para el sistema de enfriamiento (serpentín interno) por una mezcla de etilenglicol – agua para aumentar la transferencia de calor y hacer mas efectivo el enfriamiento de la resina.
- Considerar la posibilidad de instalar una planta de tratamiento de aguas residuales para disminuir los desechos y reutilizarla en otros procesos.



- Instalar los medidores de presión y temperatura a la salida y la entrada del condensador para controlar las condiciones de operación del mismo y aumentar su eficiencia.
  
- Utilizar formaldehído en estado sólido en la segunda recarga de materia prima, para así disminuir la cantidad de agua en el sistema.
  
- Colocar una banda transportadora de resina, que cumpla doble papel el de transportar el producto.
  
- El enfriamiento de la resina debe ser tan rápido como sea posible para evitar que la viscosidad alcance valores muy elevados.
  
- El condensador es un equipo de vital importancia durante el proceso de reacción ya que garantiza el control de temperatura y presión, evitando explosiones y daños en el sistema o directamente en el personal.
  
- Los equipos principales a dimensionar son el condensador, la bomba de vacío y el agitador.
  
- La inversión a realizar por la empresa se ve beneficiada por el préstamo que realizó el estado para el desarrollo de esta línea de producción.



**BIBLIOGRAFIA**

- Astarloa-Aierbe,G.; Echeverría,J.M.; Martin,M.D. and Mondragón,I.: *Polymer*, **39**, 15, pp346 (1998)
- Knop, A. and Pilato, L.A.: *"Phenolic Resins"*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (1985)
- Grenier-Loustalot, M.F.; Larroque,S.; Grande,D.; Grenier,P. and Bedel D.: *Polymer*, **37**, 8,pp1363 (1996)
- Grenier-Loustalot, M.F.; Larroque,S.; Grenier,P. and Bedel D.: *Polymer*, **37**, 6, pp939 (1996)
- Flynn, J.H. and Wall, L.A.: *J.Polym.Sci.,Part.B*, **4**, pp323 (1966)
- Grenier-Loustalot, M.F.; Larroque,S.; Grenier,P.; Leca,J.P. and Bedel D.: *Polymer*, **35**, 14, pp3046 (1994)
- Werstler D.D.: *Polymer*, **27**, pp750 (1986)
- So,S and Rudin,A.: *J.Appl.Polym.Sci.*, **41**, pp205 (1990)
- Kenny,J.M.; Pisaniello,G.; Farina,F. and Puzziello,S.: *Thermochimica Acta* 269/270, pp201 (1995)
- Astarloa-Aierbe,G.; Echeverría,J.M.; Vázquez,A. and Mondragón,I.: *Polymer*, **41**, pp331 (2000)
- Lochte H., Strauss E. and Conley R.: *J.Appl.Polym.Sci.*, **9**, pp2799 (1963)
- Jackson W. and Conley R.: *J. Appl.Polym.Sci.*, **8**, pp2163 (1964)
- Chiantore O., Lazzari M. and Fontana M.: *IJPAC*, Gordon and Breach Publishers, vol 1, nº2 (1995)
- Chiantore O., Novák I. and Berek D.: *Anal.Chem.*, **60**, pp638 (1988)
- Prime, R.B.: *"Thermal Characterization of Polymeric Materials"*, Ed. E.Turi, Academic Press,Vol.2 (1997)
- Mallick P.K.: *"Fiber Reinforced Composites, Materials, Manufacturing and Design"*, segunda edición, Marcel Kikker inc. (1993)
- Gardziella, A.; Pilato, L.A. and Knop, A.: *"Phenolic Resins"*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg ((2000)

- Fisher T.H., Chao P., Upton C.G. and Day A.J.: *Magn.Reson.Chem.*, **29**,pp966 (1991)
- Wu, H-D.; Ma, C-C.M. and Chu, P.P.: *Polymer*, **38**, pp5415 (1997)
- Kuzak, S.G.; Hiltz, J.A. and Waitkus, P.A.: *J.Appl.Polym.Sci.*, **67**, pp349 (1998)
- St. John, N.A. and Brown, J.R.: *Composites PartA*, **29<sup>a</sup>**, pp939 (1998)
- Mika, T.F. and Bauer, R.S.: “*Epoxy Resins. Chemistry and Technology*”, segunda edición, ed.May, C.A., Marcel Dekker, New York (1988)
- Shechter, L. and Wynstra, J.: *Ind.and Eng.Chem.*, **48**, pp86 (1956). Disponible en [www.materiales-sam.org.ar/sitio/revista/trabajo\\_MANFREDI.pdf](http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/revista/trabajo_MANFREDI.pdf)
- Ashcroft, W.R.: “*Chemistry and Technology of Epoxy Resins*”, primera edición, Ed. B. Ellis,Chapman & Hall (1993). Disponible en [www.invenia.es/oepm:e99967021](http://www.invenia.es/oepm:e99967021)
- Shulman G.P. and Lochte H.W.: *J.Appl.Polym.Sci*, **10**, pp619 (1966). Disponible en [www.quiminet.com.mx/pr6/Resoles.htm](http://www.quiminet.com.mx/pr6/Resoles.htm)
- Grenier-Loustalot, M.F.; Larroque,S.; Grenier,P. and Bedel D.: *Polymer*, **37**, 6, pp955 (1996). Disponible en [www.rebirthresoles.co.nz/](http://www.rebirthresoles.co.nz/)

**APÉNDICE A**  
**TABLAS DE TOXICIDAD**

*A continuación se muestran las hojas de seguridad y toxicología de las materias primas necesarias para la producción de resinas fenólicas tipo resol*

**TABLA A.1**  
**HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL FENOL C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O/C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH**

<i><b>Tipos de peligro/ exposición</b></i>	<i><b>Peligros/ Síntomas agudos</b></i>	<i><b>Prevención</b></i>	<i><b>Primeros auxilios/ lucha contra incendios</b></i>
<b>INCENDIO</b>	Combustible.	Evitar las llamas. NO poner en contacto con oxidantes fuertes.	Espuma resistente al alcohol, polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración.
<b>EXPLOSION</b>	Por encima de 79°C: se pueden formar mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 79°C: sistema cerrado, ventilación.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración.
<b>INHALACION</b>	Sensación de quemazón, tos, vértigo, dolor de cabeza, náuseas, jadeo, vómitos, pérdida del conocimiento (Síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Evitar la inhalación de polvo fino y niebla. Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
<b>PIEL</b>	¡PUEDE ABSORBERSE! Quemaduras cutáneas graves, shock, colapso, efecto anestésico local, convulsiones, shock, colapso, coma, muerte.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica. Utilizar guantes protectores cuando se presten primeros auxilios.

**TABLA A.1 (Continuación)**  
**HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL FENOL C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O/C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH**

<i><b>Tipos de peligro/ exposición</b></i>	<i><b>Peligros/ Síntomas agudos</b></i>	<i><b>Prevención</b></i>	<i><b>Primeros auxilios/ lucha contra incendios</b></i>
<b>OJOS</b>	Pérdida de visión, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto, si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<b>INGESTION</b>	Corrosivo. Dolor abdominal, convulsiones, diarrea, dolor de garganta, coloración oscura de la orina.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante, reposo y proporcionar asistencia médica. Dar a beber gran cantidad de aceite vegetal, NO agua.

<b>DERRAMAS Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>
NO verterlo al alcantarillado, barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente precintable, recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Medidas para contener el efluente de extinción de incendios. Separado de oxidantes fuertes y alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco, seco, bien cerrado y bien ventilado.	No transportar con alimentos y piensos. símbolo T R: 24/25-34 S: (1/2-)28-45 Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: II CE:

<b>DATOS IMPORTANTES</b>	
<p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Cristales de incoloros a amarillos o ligeramente rosados, de olor característico.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b> El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b> Puede explotar por calentamiento intenso por encima de 78°C. La disolución en agua es un ácido débil. Reacciona con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión.</p>	<p><b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber rápidamente por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión. El vapor puede ser absorbido!</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C, se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> El vapor de la sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del vapor de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas). La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, el corazón y el riñón, dando lugar a convulsiones, alteraciones cardíacas, fallo respiratorio, colapso y coma. La exposición puede causar la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al hígado y al riñón.</p>



**TABLA A.2**  
**HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL FORMALDEHIDO**  
**(CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>**

<b>TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION</b>	<b>PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS</b>	<b>PREVENCION</b>	<b>PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>
<b>INCENDIO</b>	Inflamable.	Evitar llama abierta.	Polvos, espuma resistente al alcohol, pulverización de agua, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSION</b>	Por encima de 71°C: pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	Por encima de 71°C: sistema cerrado, ventilación. Evitar el depósito de polvo; sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión de polvos.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
<b>EXPOSICION</b>		¡EVITAR LA DISPERSION DE POLVOS!	
<b>INHALACION</b>	Tos, dolor de garganta.	Ventilación (no si es polvo), extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicado y someter a atención médica.
<b>PIEL</b>	Enrojecimiento.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.

**TABLA A.2 (Continuación)**  
**HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL FORMALDEHIDO (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>**

<b>OJOS</b>	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular en combinación con protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
<b>INGESTION</b>		No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!) y someter a atención médica.

<b>DERRAMAS Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, eliminar el residuo con agua abundante (protección personal adicional: respirador de filtro mixto para vapores orgánicos y polvo nocivo A/P2).	Separado de oxidantes fuertes, bases fuertes, ácidos fuertes. Mantener en lugar frío, seco; mantener en una habitación bien ventilada.	Hermético. Clasificación de Peligros NU: 4.1 Grupo de Envasado NU: III

DATOS IMPORTANTES		
<p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Polvo cristalino blanco, con olor acre.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b> Es posible la explosión de polvo si se encuentra mezclada con el aire en forma pulverulenta o granular.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b> La sustancia se descompone al calentarla intensamente produciendo formaldehído. Reacciona con oxidantes; reacciona con ácidos y bases fuertes, produciendo formaldehído.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV no establecido.</p>	<p><b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b> La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel.</p>	
<p><b>PROPIEDADES FISICAS</b></p>	<p>Punto de fusión: 155-170°C</p> <p>Densidad relativa (agua = 1): 1.46</p> <p>Solubilidad en agua: Lentamente en agua fría, evoluciona a formaldehído</p> <p>Presión de vapor, kPa a 25°C: &lt;0.2</p>	<p>Punto de inflamación: 71°C (c.c.)°C</p> <p>Temperatura de autoignición: 300°C</p> <p>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 7.0-73.0</p>

## Información de seguridad de la Resina Fenólica tipo resol

### 1. IDENTIFICACIÓN DE EMPRESA Y PRODUCTO

Código producto: RM – 032

Nombre químico: Resina fenol / formaldehído.

Fabricante: RESINAS MULTIPLES S.A.

Dirección: Calle Isaías medina Angarita Zona industrial de Cagua. – Edo. Aragua,  
Venezuela .

Teléfono: 0244- 4471306, 4472735, 447353.

Cargo contacto: Coordinador de seguridad Industrial, Gerencia de Planta.

### 2. MATERIALES PELIGROSOS

#### MATERIAL

Resina Fenolica para Espumación

### 3. INFORMACIÓN DE EMBALAJE

Nombre del envío : RM – 032

Clase de peligrosidad: 3

Nombre legal del envío: Resina fenol-formaldehído (contiene aromáticos)

Marca de peligrosidad: Liquido inflamable.

### 4. DATOS FISICOS

Aspecto físico: Liquido

Color: marrón.

Olor: olor aromático.

Naturaleza química: Fenol/ formaldehído.

Gravedad específica: ( 25 ° C ) : 1,22 +/- 1,26

Viscosidad Brookfield (20 rpm, 25 °C) cps: 3000 – 5000

### 5. PELIGROS DE FUEGO Y EXPLOSION

Punto de inflamación: > 40 ° C.

Ignición: 465 ° C.

Limites de flamabilidad: no aplica.

Medios de extinción: dióxido de carbono, polvo químico seco, espuma.

Procedimientos especiales para combatir el fuego: usar agua en chorro para enfriar la superficie, no usar corrientes de agua para extinguir el fuego. El producto puede viajar y prevalecer con el agua. Peligros no usuales de fuego y explosión: peligro cuando es expuesto al calor o a la llamas, puede ser reactivo con materiales oxidantes.

## 6. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: estable.

Condiciones a evitar: alta temperatura y llamas de fuego.

Incompatibilidad: agentes oxidantes.

Polimerización: no ocurre.

Productos de su descomposición: monóxido de carbón, dióxido de carbono, otros no identificados pueden formarse durante la combustión.

## 7. RIESGOS A LA SALUD

Efectos a la exposición: una exposición repetida o prologada puede causa desvanecimiento y/o acotar la respiración. Con un incremento de la exposición puede provocar nauseas, mareos hasta perder el conocimiento.

Inhalación: sus vapores son irritantes a las membranas mucosas y al tracto respiratorio.

Ingestión: toxicidad moderada. Puede causar, náuseas, vómitos, desvanecimiento y hasta la perdida de conocimiento.

Contacto con piel y ojo: el liquido es levemente irritante, puede causar resequedad y dermatitis en la piel.

Efectos crónicos: no están determinados.

Condiciones medicas que pueden agravarse por exposición: puede agravar una dermatitis o problema respiratorio o en la garganta.

## 8. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: sacar la persona al aire libre. Si respira con dificultad suministrar oxigeno, sino respira suministrar respiración artificial. Dar atención medica.

Contacto con los ojos: lavar con abundante agua durante 15 minutos. Dar atención medica.

Contacto con la piel: quitar la ropa contaminada. Lavar el área afectada con agua y jabón. Si la irritación en la piel se desarrolla y persiste ver al médico.

Ingestión: no debe inducirse el vomito. Dar atención médica.

## 9. MEDIDAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.

Manejo y almacenaje : almacénese en áreas ventiladas, manténgase el material en áreas bien ventiladas para minimizar los riesgos de peligro en la exposición.

Protección respiratoria: se recomienda usar mascarar con filtros contra vapores orgánicos.

Protección ocular: usar lentes de seguridad.

Protección en la piel: guates, mascara, botas de seguridad.

Estas son recomendaciones generales basadas en nuestra experiencia. Sin embargo circunstancias individuales podrían requerir equipos de protección que minimice los peligro en la exposición potencial.

## 10. PROCESOS DE FUGAS Y DERRAMES

Precauciones si el material es derramado: liquido inflamable. Aísle el material derramado. Use equipo de protección de emergencia. No use agua para la limpieza. Para pequeños derrames utilice material absorbente. Para grandes derrames utilice bombas a prueba de explosión para recuperar él liquido. El material derramado, agua contaminada y o el suelo es extremadamente peligrosos para el humano o cualquier otra forma de vida.

Material recuperado puede ser reciclado. Manéjese con cuidado.

**APÉNDICE B**  
**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DE LAS**  
**RESINAS FENOLICAS.**

*A continuación se muestra los métodos experimentales para caracterizar las resinas fenolicas tipo resol, tanto el estudio de la muestra patrón como las resinas que se obtuvieron en la escala de laboratorio como la piloto fueron estudiadas bajo estos procedimientos*

## 1.- Determinación del contenido de materias no volátiles.

El método que se presenta a continuación, se basa en la determinación del contenido de materias no volátiles en una resina, evaporando la parte volátil de la misma y aplicando calentamiento en un horno, durante un tiempo y una temperatura determinada.

Este método está basado en la norma COVENIN 827-81.

### Equipo:

- Balanza con apreciación de 0,1 mg.
- Horno termoestable con precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  sin ventilación.
- Jeringa de 5 ml.
- Platillos de aluminio de 57 mm de diámetro y 12,5 mm de altura, provistos de asa en unos de sus extremos para su manejo.
- Desecador que contenga un material que absorba la humedad.

### Reactivos:

- Diluyentes grado industrial (ver Tabla 3.1.).

### Procedimiento:

- Fijar la temperatura del horno según el tipo de resina que se va a ensayar, con una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (ver Tabla 3.1).
- Introducir el platillo de aluminio en el horno por 15 min., retirarlo e introducirlo en el desecador por 15 min. más.
- Pesar el platillo de aluminio con una precisión de 0,1 mg.
- Llenar la jeringa con la muestra de resina y por diferencia de pesada descargar en el platillo la cantidad de resina indicada en la Tabla B.1.
- Agregar la cantidad y tipo de diluyente especificado en la tabla, tratando de obtener una película de espesor uniforme en todo el platillo.
- Introducir el platillo con la muestra en el horno a la temperatura y tiempo indicado en la tabla.
- Al finalizar el tiempo establecido para el ensayo, retirar el platillo e introducirlo en el desecador.
- Retirar el platillo del desecador a los 15 min. y pesar con una precisión de 1 mg.



- Efectuar el ensayo por duplicado.

El porcentaje de materias no volátiles se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\% NV = \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad (\text{Ecuación XXVII})$$

Donde:

% NV = Materias no volátiles, en porcentaje.

$M_1$  = Masa de la muestra de resina antes del proceso de desecación, en gramos.

$M_2$  = Masa de la muestra de resina después del proceso de desecación, en gramos.

**TABLA B.1.**  
**PATRONES PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIAS NO VOLÁTILES.**

<b>Tipo de Resina</b>	<b>Tiempo (t ± 0,1) h</b>	<b>Temperatura (T ± 0,1) °C</b>	<b>Diluyente</b>	<b>Cantidad de Diluyente (Dy ± 0,1) ml</b>	<b>Peso de la muestra (P ± 0,2) g</b>
Acrílicas en solución	1,0	150,0	Xileno	2,0	1,0
Acrílicas reducibles en agua	1,3	250,0	Butil Cellosolve	2,0	1,0
Alquídicas	1,0	150,0	Xileno	2,0	1,0
Amínicas Butiladas	3,0	105,0	Butanol	2,0	0,8-1,0
Amínicas Metiladas	2,0	120,0	Agua	2,0	1,0
Barnices	1,0	150,0	Xileno	2,0	1,0
Cetonicas en solución	1,0	150,0	Xileno	2,0	1,0
Éteres de colofonia	1,0	150,0	Xileno	2,0	1,0
Epoxicas duras en solución	1,0		Metil Isobutilceto na		

Epoxies esteres	1,0	150,0	Xileno	2,0	1,0
Emulsión acuosa	2,0	120,0	Agua	3,0	1,0
Fenolicas en solución	1,0	150,0	Xileno	2,0	1,0
Fenol formaldehído en solución	2,0	120,0	Agua	2,0	1,0
Hidroalcoholica					
Fenol formaldehído no reactiva , diluidas en metanol	2,0	120,0	Metanol	2,0	1,0

**TABLA B.1. PATRONES PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIAS NO VOLÁTILES. (CONTINUACIÓN).**

<b>Tipo de Resina</b>	<b>Tiempo (t ± 0,1) h</b>	<b>Temperatura (T ± 0,1) °C</b>	<b>Diluyente</b>	<b>Cantidad de Diluyente (Dy ± 0,1) ml</b>	<b>Peso de la muestra (P ± 0,2) g</b>
Fenol Formaldehído modificada con urea	1,3	115,0	Agua	2,0	1,0
Fenol Formaldehído de relación molar menor de 1	3,0	135,0	-	-	1,0
Maleícas	1,0	150,0	Xileno	2,0	1,0
Poliamidas solubles en agua	3,0	105,0	Agua	2,0	2,0
Poliésteres no saturados	1,0	150,0	-	-	1,0
Urea Formaldehído condensada , formol libre < 7	2,0	120,0	Agua	2,0	1,0
Urea Formaldehído furfuriladas condensadas	3,0	105,0	-	-	0,8-1,0
Urea Formaldehído condensada , formol	2,0	120,0	-	-	1,0

libre > 7					
Urea cíclica	1,5	105,0	Agua	2,0	1,0
Formaldehído condensado					
Resinatos sódicos	1,0	150,0	Agua	2,0	1,0

## 2.- Determinación del tiempo de gelación en resinas fenólicas.

Procedimiento basado en la norma COVENIN 1840-81 el cual contempla el método de ensayo para determinar el tiempo de gelación de resinas fenolicas no reactivas con hexametilentetramina y el tiempo de gelación de resinas liquidas reactivas.

### Equipo.

- Medidor de tiempo de gelación, con un motor reductor capaz de mantenerse a una velocidad de 1 a 2 rpm y un dispositivo de detención del motor, de características tales que se pare al alcanzar la muestra una viscosidad de 50 Pa.s (500 P).
- Baño de temperatura regulada de acuerdo al producto a ser ensayado en apreciación de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (ver Tabla B.2).
- Tubo de ensayo de 18x 150 mm.
- Jeringa o comparador de nivel.
- Termómetro en rango de -2 a 300 ° C y apreciación de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- Balanza con apreciación 0,1 g.
- Frasco de 250ml con su tapa.
- Varilla agitadora de vidrio de 0,8 mm de diámetro y longitud suficiente para que pueda estar sumergido 50 mm en la muestra de ensayo.
- Vibrador.

### Reactivos

Todos los reactivos indicados a continuación a menos que se especifique lo contrario, son de grado técnico y el agua es desionizada.

- Agua.
- Percloroetileno (p.a).
- Butanol.

- Xileno.
- Etilenglicol.
- Glicerina.
- Metanol.
- Hexametilentetramina.

### **Procedimiento para la determinación del tiempo de gelación en resinas líquidas reactivas.**

- Calibrar el largo del hilo de torción y la distancia entre los hilos de platino utilizando los calibradores adecuados. Colocar en la lectura cero el medidor de tiempo del equipo.
- Verter en el tubo de ensayo 6 ml de la resina o una cantidad tal hasta alcanzar una distancia de 5 cm. a partir del fondo del tubo.
- Fijar la temperatura del baño en  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  según el tipo de resina a ensayar (ver Tabla 3.2). Introducir la varilla de vidrio en el tubo de ensayo y colocar este en el baño de temperatura regulada.
- Prender el interruptor de poder , ajustar el tapón horadado en el orificio de la tapa del baño de manera que el nivel del líquido de la resina quede al menos 1 cm. debajo del nivel del líquido del baño termostatado.
- Conectar inmediatamente la extremidad metálica de la varilla al Terminal magnético de la pinza interior. Ajustar la distancia entre los dos terminales del pila de platino con el espesor del calibrador patrón y poner en marcha el interruptor de ensayo.
- Esperar que suene la alarma que indica que la resina ha gelado y anotar el tiempo transcurrido.

La varilla de vidrio se debe sacar de inmediato y sumergir en Xileno para evitar que la resina gelada se endurezca y se dificulte su limpieza.

El tiempo de gelación se reporta como el tiempo en minutos, y segundos que tardó la resina en gelar. La última cifra que marca el cronómetro del equipo son décimas de minuto, por lo tanto para convertir a segundos se utiliza la siguiente ecuación.

$$\text{minutos} = 6 * N \quad (\text{Ecuación XXVIII})$$

Donde:

$N$  = Numero de décimas de segundo que indica la ultima cifra del cronometro.

**TABLA B.2.**  
**TEMPERATURA VS. REACTIVOS PARA EL BAÑO TERMOSTATADO**

Temperatura ( $T \pm 0,1$ ) °C	Reactivos
98,0	Agua desionizada
120,0	Percloroetileno
135,0	Xileno- Butanol
150,0	Glicerina Etilenglicol

### 3.- Determinación de la viscosidad.

Este procedimiento contempla el método de ensayo para determinar la viscosidad de Brookfield de resinas en estado líquido, emulsión o dispersión y esta basado en la norma COVENIN 0577-80. La muestra debe estar a 20 °C y no debe presentar burbujas, para evitar errores en la medición.

#### Equipo.

- Viscosímetro Brookfield.
- Beaker de 500 ml.
- Spin adecuado.

#### Procedimiento para la determinación del tiempo de gelación al calor en resinas líquidas reactivas.

- Colocar la aguja adecuada para el rango de viscosidad de la muestra.
- Ajustar las revoluciones por minuto (rpm) en el equipo según datos proporcionados, o ajustándolo al mejor resultado.

- Introducir la aguja en la muestra bajando el cabezal del aparato, la aguja debe ser introducida hasta la marca indicada por la misma.
- Encender el equipo y esperar entre 30 y 60seg.
- Pasada la cantidad de tiempo, y utilizando la manilla, detener el equipo para verificar la lectura.
- Utilizar la Tabla 3.3. de relaciones y conversiones entre la aguja usada y las revoluciones, multiplicar por el factor para obtener la viscosidad en centipoise (cp).

**TABLA B.3.**  
**FACTORES DEL VISCOSÍMETRO DE BROOKFIELD SEGÚN EL**  
**SPIN Y LA VELOCIDAD SELECCIONADA.**

<b>Spin rpm</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
0,5	200	800	2000	4000	8000	80000	80000
1	100	400	1000	2000	4000	10000	40000
2	50	200	500	1000	2000	5000	20000
2,5	40	160	400	800	1600	4000	16000
4	25	100	250	500	1000	2500	10000
5	20	80	200	400	800	2000	8000
10	10	40	100	200	400	1000	4000
20	5	20	50	100	200	500	2000
50	2	8	20	40	80	200	800

#### 4.- Determinación del pH.

Procedimiento basado en la norma COVENIN 1509-79 la cual contempla el método de ensayo para determinar el pH de resinas fenólicas líquidas reactivas.

##### Equipo.

- pH- metro.
- 1 Beaker de 100 ml.

---

### Reactivos.

- Solución Buffer adecuada para el tipo de electrodo utilizado.

### Procedimiento.

- Tomar una muestra representativa en un Beaker de tamaño apropiado.
- Introducir el extremo del electrodo aproximadamente 4 cm. Y el probador de temperatura en la menara a ser ensayada.
- Encender el equipo.
- Presionar la tecla de rango hasta que la pantalla cambie a modo de pH.
- Agitar suavemente el electrodo, y esperar 1 o 2 min. para que se ajuste y estabilice.
- La pantalla debe mostrar el valor de pH compensado por temperatura.

### E.- Determinación de la densidad.

Este procedimiento esta basado en la norma COVENIN 1509-79 la cual contempla el método de ensayo para determinar la densidad de resinas fenólicas líquidas.

### Equipo.

- Balanza digital, apreciación  $\pm 0,01$ .
- 1 Cilindro graduado de 50 ml.

### Procedimiento.

- Pesar el cilindro graduado vacío y registrar el peso.
- Medir 50 ml de resina en el cilindro graduado.
- Pesar el cilindro graduado lleno y registrar el peso.
- Efectuar el ensayo por duplicado.

La densidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m_{\text{Lleno}} - m_{\text{Vacío}}}{V} \quad (\text{Ecuación XXIX})$$

---

## **Determinación experimental de los parámetros físicos-químicos de la muestra.**

A una muestra de aproximadamente 1 Kg. de resina fenólica tipo resol seleccionada anteriormente se le realizaron los estudios de laboratorio para la determinación de las características principales, cuyo procedimiento experimental esta descrito anteriormente.

La empresa que facilitó la muestra proporcionó una ficha técnica con las características del producto, sin embargo, y gracias a que el laboratorio de RESINAS MULTIPLES S.A. cuenta con los equipos necesarios para la realización de corridas experimentales, se verificaron las condiciones de la resina, y se estableció las especificaciones de la resina patrón.

:



## APENDICE C

### DATOS DE LA EMPRESA

*A continuación se presenta la data del estudio del mercado del producto proporcionada por la empresa y el cuestionario el cual fue instrumento utilizado para la aplicación de la de la tormenta de ideas*

**TABLA C.1.**  
**DEMANDA DE RESINAS FENÓLICAS TIPO RESOL**

<b>Año</b>	<b>Producción Nacional ( Pn ± 0.1 ) TM</b>	<b>Importaciones ( Imp ± 0.1 ) TM</b>	<b>Demanda total ( Dt ± 0.1 ) TM</b>
1996	850.	740.0	1590.0
1997	935.0	748.0	1683.0
1998	944.4	755.5	1699.8
1999	953.8	763.0	1716.8
2000	963.3	770.7	1734.0
2001	964.3	809.2	1773.5
2002	965.3	865.8	1831.1
2003	974.9	926.5	1901.4
2004	984.7	991.3	1976.0
2005	994.5	1060.7	2055.2
2006	1004.5	1134.9	2139.4



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO II**



**ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN Y DEL MERCADO  
EXISTENTE DE RESINAS FENOLICAS TIPO RESOL**

A cada una de las siguientes preguntas conteste de forma clara y concisa:

1.- ¿Qué tipo de oferta tendría más éxito a nivel nacional, la oferta de un producto en medianas cantidades pero de gran diversidad, o la oferta de una cantidad muy alta de un producto invariable? ¿Por qué?

---

---

---

2.- ¿Es recomendable producir resoles con características constantes de viscosidad o de una misma línea de producción obtener resinas de distintas viscosidades, explique su respuesta?

---

---

---

3.- Entre la producción de resinas fenólicas hechas por carga o batch y el proceso continuo, ¿Cual es la que mejor se adapta a los requerimientos tanto internos como de mercado en la actualidad a nivel nacional? ¿Por qué?

---

---

---

4.- ¿Ha tenido la empresa los requerimientos de resinas fenolicas tipo resol de características variantes dentro de la misma línea de producción? de ser afirmativo puntualice el caso.

---

---

---

5.- ¿Tiene la empresa potenciales clientes para ubicar la nueva línea de producción de resinas fenolicas tipo resol?

---

---

---

6.- ¿De implementarse la línea de producción de resinas fenolicas tipo resol, la misma seria de que capacidad baja, mediana o alta?

---

---

---

7.- La empresa cuenta con la disponibilidad de un reactor de 1500 gal  
¿Utilizando este equipo cual seria la capacidad de producción de resinas fenolicas tipo resol?

---

---

---

## APENDICE D

### HOJAS TÉCNICAS DE LAS RESINAS FABRICADAS

*A continuación se presentan las hojas técnicas de los lotes de resinas fenólica fabricados a escala de laboratorio, de igual forma se encuentran tabulados los resultados de los estudios de las características físico – químicas del producto.*

## APENDICE E

### HOJAS TÉCNICAS DE LAS RESINAS FABRICADAS

*A continuación se presentan las hojas técnicas de los lotes de resinas fenólica fabricados a escala de piloto, de igual forma se encuentran tabulados los resultados de los estudios de las características físico – químicas del producto.*

**APÉNDICE F**  
**TABLAS Y FIGURAS**

*Tablas y figuras necesarias para el diseño de los equipos industriales*

**TABLA F.1.**  
**COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR TÍPICOS EN**  
**LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.**

{PRIVATE} Tipo	Aplicaciones y condiciones	U W/(m <sup>2</sup> .K) <sup>1)</sup>	U BTU/(ft <sup>2</sup> .°F)
Calentamiento o enfriamiento tubular	Gases a presión atmosférica dentro y fuera de los tubos.	5-35	1-6
	Gases a alta presión dentro y fuera de los tubos	150-500	25-90
	Líquido fuera (dentro) y gas a presión atmosférica dentro (fuera) de los tubos.	15-70	3-15
	Gas a alta presión y líquido fuera de los tubos.	200-400	35-70
	Líquido dentro y fuera de los tubos	150-1200	25-200
	Líquido por los tubos y vapor por fuera.	300-1200	50-200
Condensación tubular	Condensación en la coraza y agua de enfriamiento por los tubos	1500-4000	250-700
Intercambiador de calor por platos.	Líquido a líquido	1000-4000	150-700
Intercambiador de calor espiral.	Líquido a líquido	700-2500	125-500

$$1 \text{ BTU}/(\text{ft}^2\text{°Fh}) = 5.6785 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



Fuente : Dr. Bernhard Spang, Associate Content Writer. "U in Heat Exchangers".

**TABLA F.2**  
**CONSTANTE PARA UN FLUJO SOBRE UN BANCO DE**  
**TUBOS DE 10 O MAS LÍNEAS**

$S_L / D$	$S_T / D$							
	1,25		1,50		2,0		3,0	
	C1	m	C1	m	C1	m	C1	m
Alineado								
1,25	0,348	0,592	0,275	0,608	0,100	0,704	0,0633	0,752
1,50	0,367	0,586	0,250	0,620	0,101	0,702	0,0678	0,744
2,00	0,418	0,570	0,299	0,602	0,229	0,632	0,198	0,648
3,00	0,290	0,601	0,357	0,584	0,374	0,581	0,286	0,608
Escalonado								
0,600	-	-	-	-	-	-	0,213	0,636
0,900	-	-	-	-	0,446	0,571	0,401	0,581
1,000	-	-	0,497	0,558	-	-	-	-
1,125	-	-	-	-	0,478	0,565	0,518	0,560
1,250	0,518	0,556	0,505	0,544	0,519	0,556	0,522	0,562
1,500	0,451	0,568	0,460	0,562	0,452	0,568	0,488	0,568
2,000	0,404	0,572	0,416	0,568	0,482	0,556	0,449	0,570
3,000	0,310	0,592	0,356	0,580	0,440	0,562	0,428	0,574

**TABLA F.3.**  
**FACTOR DE CORRECCIÓN PARA  $N_L < 10$**

$N_L$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Alineado	0,64	0,80	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99
Escalonado	0,68	0,75	0,83	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99

**TABLA F.4**  
**CONTEO DE TUBOS**

<i>Shell ID, in</i>	<i>OTL, in</i>	<i>Tube size and pitch, in</i>	<i>1 Pass</i>	<i>2 Pass</i>	<i>4 Pass</i>	<i>6 Pass</i>	<i>8 Pass</i>
8,07	6,821	5/8 13/16 △	50	46	42	40	34
		3/4 15/16 △	38	32	26	24	18
		3/4 1 □	32	26	20	20	
		3/4 1 △	37	30	24	24	
		1 1 1/4 □	21	16	16	14	
		1 1 1/4 △	22	18	16	14	
10,02	8,770	5/8 13/16 △	88	86	74	70	64
		3/4 15/16 △	62	56	47	42	36
		3/4 1 □	52	52	40	36	
		3/4 1 △	61	52	40	36	
		1 1 1/4 □	32	32	26	24	
		1 1 1/4 △	37	32	28	28	
12,00	10,75	5/8 13/16 △	137	132	112	110	106
		3/4 15/16 △	109	98	86	82	78
		3/4 1 □	80	74	68	68	60
		3/4 1 △	90	84	76	74	70
		1 1 1/4 □	48	44	40	38	36
		1 1 1/4 △	57	52	48	46	44
13 1/4	12	5/8 13/16 △	181	166	150	142	134
		3/4 15/16 △	127	114	96	90	86
		3/4 1 □	95	90	81	77	70
		3/4 1 △	110	101	90	82	74
		1 1 1/4 □	60	56	51	46	44
		1 1 1/4 △	67	63	56	54	50
15 1/4	14	5/8 13/16 △	244	230	216	208	200
		3/4 15/16 △	170	160	140	136	128
		3/4 1 □	138	132	116	112	108
		3/4 1 △	163	152	136	133	110
		1 1 1/4 □	88	82	75	70	64
		1 1 1/4 △	96	92	86	80	78
17 1/4	16	5/8 13/16 △	339	322	298	288	280
		3/4 15/16 △	239	224	194	188	178
		3/4 1 □	188	178	168	164	142
		3/4 1 △	211	201	181	176	166
		1 1 1/4 □	112	110	102	98	82
		1 1 1/4 △	130	124	116	110	94
19 1/4	18	5/8 13/16 △	410	394	376	366	344
		3/4 15/16 △	301	282	252	244	234
		3/4 1 □	236	224	216	208	188
		3/4 1 △	273	256	242	236	210
		1 1 1/4 □	148	142	136	129	116
		1 1 1/4 △	172	162	152	148	128

**TABLA F.4**  
**CONTEO DE TUBOS (continuación)**

<i>Shell ID, in</i>	<i>OTL, in</i>	<i>Tube size and pitch, in</i>	<i>1 Pass</i>	<i>2 Pass</i>	<i>4 Pass</i>	<i>6 Pass</i>	<i>8 Pass</i>
21 1/4	19 1/2	5/8 13/16 △	478	462	442	426	416
		3/4 15/16 △	361	342	314	306	290
		3/4 1 □	276	264	246	240	234
		3/4 1 △	318	308	279	269	260
		1 1 1/4 □	170	168	157	150	148
		1 1 1/4 △	199	188	170	164	160
23 1/4	21 1/2	5/8 13/16 △	578	558	530	518	504
		3/4 15/16 △	442	420	386	378	364
		3/4 1 □	341	321	308	296	292
		3/4 1 △	381	369	349	326	328
		1 1 1/4 □	210	199	197	186	184
		1 1 1/4 △	247	230	216	208	202
25	23 3/8	5/8 13/16 △	698	676	640	630	616
		3/4 15/16 △	532	506	468	446	434
		3/4 1 □	413	391	370	360	343
		3/4 1 △	470	452	422	394	382
		1 1 1/4 □	250	248	224	216	217
		1 1 1/4 △	294	282	256	252	242
27	25 3/8	5/8 13/16 △	824	800	766	760	746
		3/4 15/16 △	637	602	550	536	524
		3/4 1 □	465	452	427	418	408
		3/4 1 △	559	534	488	474	464
		1 1 1/4 □	286	275	267	257	260
		1 1 1/4 △	349	334	302	296	286
29	27 3/8	5/8 13/16 △	966	944	904	890	874
		3/4 15/16 △	721	692	640	620	594
		3/4 1 □	554	542	525	509	500
		3/4 1 △	630	604	556	538	508
		1 1 1/4 □	348	340	322	314	313
		1 1 1/4 △	397	376	338	334	316
31	29 3/8	5/8 13/16 △	1,098	1,068	1,032	1,018	1,004
		3/4 15/16 △	847	822	766	722	720
		3/4 1 □	633	616	590	586	570
		3/4 1 △	745	728	678	666	640
		1 1 1/4 □	406	398	380	368	358
		1 1 1/4 △	472	454	430	424	400
33	31 3/8	5/8 13/16 △	974	938	878	852	826
		3/4 15/16 △	742	713	687	683	672
		3/4 1 □	856	830	774	760	732
		3/4 1 △	460	453	430	420	414
		1 1 1/4 □	538	522	486	470	454
		1 1 1/4 △					

**TABLA F.4**  
**CONTEO DE TUBOS (continuación)**

<i>Shell ID, in</i>	<i>OTL, in</i>	<i>Tube size and pitch, in</i>	<i>1 Pass</i>	<i>2 Pass</i>	<i>4 Pass</i>	<i>6 Pass</i>	<i>8 Pass</i>
35	33 3/8	5/8 13/16 △	1,102	1,068	1,004	988	958
		3/4 15/16 △	827	811	773	762	756
		3/4 1 □	970	938	882	864	848
		3/4 1 △	517	513	487	486	480
		1 1 1/4 □	608	592	562	546	532
		1 1 1/4 △					
37	35 1/4	5/8 13/16 △	1,242	1,200	1,144	1,104	1,078
		3/4 15/16 △	929	902	880	870	852
		3/4 1 □	1,090	1,042	1,012	986	958
		3/4 1 △	588	580	555	544	538
		1 1 1/4 □	674	664	632	614	598
		1 1 1/4 △					
39	37 1/4	5/8 13/16 △	1,377	1,330	1,258	1,248	1,212
		3/4 15/16 △	1,025	1,012	984	964	952
		3/4 1 □	1,206	1,176	1,128	1,100	1,078
		3/4 1 △	645	637	618	610	605
		1 1 1/4 □	766	736	700	688	672
		1 1 1/4 △					
42	40 1/4	5/8 13/16 △	1,558	1,544	1,502	1,482	1,464
		3/4 15/16 △	1,201	1,171	1,144	1,109	1,111
		3/4 1 □	1,367	1,350	1,322	1,306	1,288
		3/4 1 △	745	728	708	686	685
		1 1 1/4 □	872	850	834	824	816
		1 1 1/4 △					

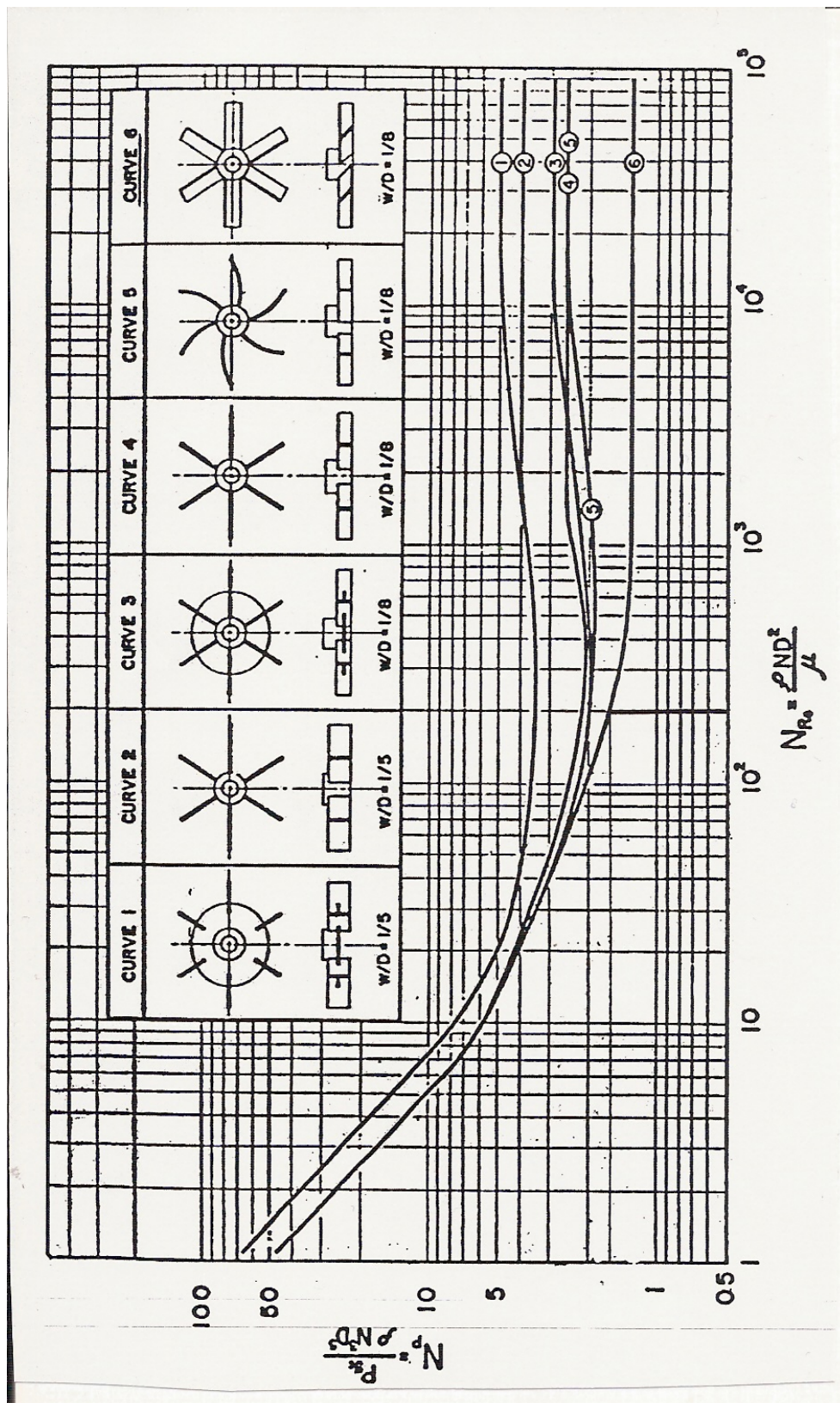


Figura F.1 Factor de potencia.

**TABLA F.5  
DIMENSIONES.**

<b>DIMENSIONES</b>	<b>RELACIÓN</b>
B/T	0,1
C/D	0,25-0,3
S/D	0,9-1,0
D/W	8
D/T	0,5-0,6

**TABLA F.6.  
RANGOS DE POTENCIA SUGERIDOS SEGÚN EL NIVEL DE AGITACIÓN.**

<b>Nivel de Agitación</b>	<b>Rango Sugerido (Hp/1000 gal)</b>	<b>Usos</b>
Bajo	0,5-2	Mezclado y fundiciones
Medio	2-5	Transferencia de calor, suspensión y absorción de gases
Violento	5-10	Reacciones, formación de emulsiones, suspensiones de rápido asentamiento.

## APÉNDICE G CÁLCULOS TÍPICOS

*En este Apéndice se presenta el modelo de cálculo empleado en la evaluación y dimensionamiento de los equipos necesarios para la instalación de la planta de Resinas Fenólicas tipo Resol.*

## F.1. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL CONDENSADOR.

A continuación se presenta el modelo de cálculo para el dimensionamiento del condensador, basándose en la última iteración.

### G.1.1. Cálculo del flujo de refrigerante (mg).

El refrigerante seleccionado es agua proveniente de la torre de enfriamiento a una temperatura aproximada de 293.15 K. El flujo es un dato proporcionado por las especificaciones teóricas del equipo y se obtiene evaluando la siguiente ecuación:

$$m_R = A_f \cdot V_B$$

Donde:

$m_R$  = Flujo del refrigerante

$A_f$  = Área de flujo

$V_B$  = Velocidad de bombeo

Para una velocidad de bombeo  $V_B$  de 3 m/s y un área de flujo  $A_f$  de  $8,12 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup> tenemos:

$$m_R = (8,12 \cdot 10^{-3}) m^2 * (3) \frac{m}{s} = 0,024 \frac{m^3}{s}$$

### G.1.2. Cálculo del flujo de vapor

El flujo de vapor que circula por el condensador se obtiene mediante un promedio de la masa total de agua contenida en el sistema. Inicialmente se adiciona agua con las materias primas y adicionalmente durante la reacción se libera una molécula de agua por mol de fenol que esta presente en la reacción.

$$m_v = \frac{m_T}{t_{Rxn}}$$



Donde:

$m_v$  = Flujo másico del vapor

$m_T$  = Masa total del sistema

$t_{Rxn}$  = Tiempo de reacción

Para una masa total de 1200 Kg. De agua y un tiempo de reacción no mayor a 6 horas, se tiene:

$$m_v = \frac{1200Kg}{6h} = 5,56 * 10^{-2} \frac{Kg}{h}$$

### G.1.3. Cálculo del calor

Para el cálculo de calor intercambiado se realizó un balance global de energía en el fluido caliente, como sigue:

$$Q = m_v \cdot C_{p_v} \cdot (T_{E_v} - T_{S_v})$$

Donde:

$Q$  = Calor generado o liberado del sistema

$C_{p_v}$  = Calor específico del vapor

$T_{E_v}$  = Temperatura de entrada del vapor al condensador

$T_{S_v}$  = Temperatura de salida del vapor del condensador

La temperatura de entrada al condensador se supuso como la temperatura de saturación a la presión del sistema (445400 Pa) y corresponde a 420,65 K. La temperatura de salida es un valor experimental tomado de la fase piloto. El calor específico del vapor de agua se evaluó a la temperatura de entrada y tiene un valor de 2014 j/Kg K. Finalmente se tiene:

$$Q = 5,56 * 10^{-2} \frac{Kg}{h} * 2014 \frac{J}{Kg} * (420,65 - 360,15)K = 6769,28 \frac{J}{s}$$

### G.1.4. Cálculo de la temperatura de salida del refrigerante

La temperatura de salida del refrigerante se obtiene mediante un balance global de energía en el fluido frío, según la siguiente ecuación:

$$T_{S_R} = T_{E_R} + \frac{Q}{m_R \cdot C_{p_R}}$$

Donde:

$T_{S_R}$  = Temperatura de salida del refrigerante

$T_{E_R}$  = Temperatura de entrada del refrigerante

$C_{p_R}$  = Calor específico del refrigerante

Evaluando para un calor específico del agua de 4179 J/Kg .K , a la temperatura de entrada , tenemos:

$$T_{S_R} = 239,15K + \frac{24369,4 \frac{J}{h}}{2014 \frac{Kg}{h} \cdot 24,32 \frac{J}{Kg}} = 86,60K$$

### F.1.5. Diseño del condensador mediante el método DTML.

El procedimiento de diseño del condensador mediante este método se basa en la suposición de un área de transferencia a partir del calor intercambiado y la diferencia media logarítmica entre las entradas y salidas de cada fluido.

La temperatura media logarítmica se obtiene empleando la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{E_v} - T_{S_R}) - (T_{S_v} - T_{E_R})}{\frac{\ln(T_{E_v} - T_{S_R})}{(T_{S_v} - T_{E_R})}}$$

Sustituyendo los valores correspondientes, tenemos:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(420,65 - 86,60)K - (360,15 - 293,15)K}{\frac{\ln(420,65 - 86,60)K}{(360,15 - 293,15)K}} = 63,90K$$

Para un coeficiente global de transferencia de calor de  $56,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Se obtiene un área estimada de  $28,32 \text{ m}^2$ . En base a este valor se realiza un conteo de tubos obteniéndose los siguientes resultados:

$$D_{T_i} = 0,015 \text{ m}$$

$$D_{T_e} = 0,0191 \text{ m}$$

$$D_{C_i} = 0,015 \text{ m}$$

$$N = 318$$

$$S_D = S_T = 0,0254 \text{ m}$$

$$S_L = 0,01 \text{ m}$$

#### F.1.6. Cálculo del coeficiente convectivo interno

El coeficiente convectivo de flujo interno se calcula mediante la correlación de Dittus-Boelter aplicable a flujo turbulento en tubos circulares. Las propiedades del vapor de agua fueron tomadas de los Apéndices del Incropera.

$$\mu_v = 1,42 \cdot 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$$

$$K_v = 26,43 \text{ W/m.K}$$

$$P_{r_v} = 1,0518$$

El número de Reynolds se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R_{e_D} = \frac{4 \cdot m_v}{\pi \cdot D_T \cdot \mu}$$

Sustituyendo los valores, tenemos:

$$R_{e_D} = \frac{4 * 200 \frac{Kg}{h}}{\pi * 0,015m * 1,42 \cdot 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2}}$$

La correlación de Dittus- Boelter se enuncia como sigue:

$$N_{u_D} = 0,023 * R_{e_D}^{0,8} * P_r^{0,3}$$

Sustituyendo los valores, tenemos:

$$N_{u_D} = 5,95$$

De aquí se puede estimar el coeficiente de convección interno, utilizando la ecuación:

$$h_i = \frac{N_{u_D} * K}{D_T}$$

Evaluando la ecuación, se tiene:

$$h_i = 10225,7 \frac{W}{m^2 K}$$

### G.1.7. Cálculo del coeficiente convectivo externo

La correlación de Grimison para banco de tubos modificada para fluidos diferentes del aire fue utilizada para calcular el coeficiente convectivo externo. Las propiedades del agua a la temperatura de entrada son:

$$V_R = 0,99 * 10^{-3} \text{ s/m}^2$$

$$K_R = 0,6025 \text{ W/m.K}$$

$$P_{r_R} = 6,996$$

La correlación empleada se enuncia a continuación:

$$N_{uD} = 1,13.C_1.R_{eD_{m\acute{a}x}}^m.P_r^{1/3}$$

Donde el número de Reynolds máximo se calcula como sigue:

$$R_{eD_{m\acute{a}x}} = \frac{V_{m\acute{a}x}.D}{\nu}$$

En el cálculo de la velocidad máxima es importante determinar en que plano sucede, por lo tanto se evalúa la siguiente condición:

$$S_D = \left( S_L^2 + \left( \frac{S_T}{2} \right)^2 \right)^{1/2} \leq \frac{S_T + D}{2}$$

Sustituyendo tenemos:

$$S_D = \left( 0,01^2 + \left( \frac{0,025}{2} \right)^2 \right)^{1/2} \leq \frac{0,025 + 0,019}{2}$$

$$S_D = 0,018 \leq 0,020$$

Se cumple la condición por lo tanto la velocidad máxima ocurre en el plano diagonal y se obtiene empleado la siguiente ecuación:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{S_T.V}{2(S_D - D)}$$

Sustituyendo, tenemos:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{0,025 * 0,18}{2(0,1 - 0,019)} = 0,35 \frac{m}{s}$$

Para esta velocidad máxima se obtiene un Reynolds de:

$$R_{eD} = 6,71$$

Con estos valores en la tabla 4.2 se encuentran los valores de las constantes C1 y m correspondientes:

$$C_1 = 0,213$$

$$m = 0,636$$

Finalmente el número de Nusselt para estas condiciones es:

$$N_{u_D} = 1,13 * 0,213 * 6,71^{0,636} * 6,996^{1/3} = 1,54$$

Ahora se puede evaluar el coeficiente de convección externo.

$$h_o = \frac{N_{u_D} \cdot K}{D_T} = 48,85 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### G.1.8. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

En el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se ha supuesto resistencia térmica del material del tubo y efectos de impurezas despreciables y por lo tanto la ecuación se reduce a la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

Sustituyendo, tenemos:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{10225,81 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{1}{48,85 \frac{W}{m^2 \cdot K}}} = 48,62 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### F.1.9. Cálculo del área

Ahora se puede calcular el área de transferencia de calor mediante el siguiente balance de energía:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml}$$

Donde:

$$A = N \cdot L \cdot \pi \cdot D_T$$

Despejando el área de la ecuación anterior:

$$A = \frac{24369,4 \frac{J}{s}}{48,62 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 63,9K} = 34,62m^2$$

De la ecuación del área se despeja la longitud del tubo:

$$L = \frac{A}{N \cdot \pi \cdot D_T} = \frac{34,62m^2}{318 * \pi * 0,019m} = 1,82m$$

## G.2. CÁLCULO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN.

A continuación se presenta el modelo de cálculo empleado para la obtención de las especificaciones del sistema de agitación:

Las dimensiones del agitador se obtienen mediante relaciones con las dimensiones del reactor, y son las siguientes:

$$\frac{B}{T} = 0,1 \quad , \quad \frac{C}{D} = 0,25 - 0,3 \quad , \quad \frac{S}{D} = 0,9 - 1,0 \quad , \quad \frac{D}{W} = 8 \quad , \quad \frac{D}{T} = 0,5 - 0,6$$

Evaluando, se obtiene:

$$D = 0,89m$$

$$B = 0,18m$$

$$W = 0,11m$$

$$S = 0,82m$$

$$C = 0,21m$$

### G.2.1. Cálculo del Número de Reynolds:

El cálculo se realiza para las condiciones máximas a las cuales pueda llegar el sistema (la resina), para garantizar una agitación adecuada.

$$V_A = 10,43 \text{ rad/s}$$

$$\rho_r = 1700,04 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu_R = 10 \text{ Kg/m.s}$$

El número de reynolds se evalúa aplicando la siguiente ecuación:

$$R_e = \frac{\rho \cdot V_A \cdot D_A}{\mu}$$

Sustituyendo, tenemos:

$$R_e = \frac{1700,04 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 10,43 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 2,89\text{m}}{10 \frac{\text{Kg}}{\text{m.s}}}$$

### G.2.2. Cálculo del número de potencia

El número de potencia se obtiene a partir del número de Reynolds obteniendo, el tipo de agitador y la Figura 4.3

De la Figura 4.3. se lee  $N_p = 1,5$

### G.2.3. Cálculo de la potencia del motor

Para el cálculo de la potencia del motor se emplea la siguiente ecuación:

$$P = \frac{N_p \cdot R_e \cdot V_A^2 \cdot D_A^3 \cdot \mu}{gc.550} \quad (41)$$

Sustituyendo

$$P = 7460\text{W}(10\text{Hp})$$

### G.3. CÁLCULO DE LA BOMBA DE VACÍO.



A continuación se presenta el modelo de cálculo empleado para la obtención de las especificaciones de la bomba de vacío, la cual estará ubicada después del condensador y manipulará aire y exceso de vapor que no haya podido ser condensado:

### G.3.1. Cálculo del pulmón de vacío:

Se tiene un tanque cilíndrico, cuyas dimensiones son:

$$D_p = 1 \text{ m}$$

$$L_p = 1,90 \text{ m}$$

El volumen total de aire será:

$$V = V_R + V_P$$
$$V_{a,p} = V_P = \frac{\pi \cdot D_p^2 \cdot L_p}{4}$$

Las condiciones del pulmón de vacío son:

$$T_p = 298,15 \text{ K}$$

$$P_p = 1,5 \text{ atm}$$

$$T_R = 423,15 \text{ K}$$

$$P_R = 1 \text{ atm}$$

$$R = 0,082 \text{ atm.L/mol .K}$$

Aplicando la ley de los gases ideales como sigue:

$$m_a = \frac{V_a \cdot P \cdot PM}{T \cdot R}$$

Sustituyendo los valores correspondientes se tiene:

$$m_{a,p} = 2,65 \text{ Kg}$$

$$M_{a,R} = 1,62 \text{ Kg}$$

$$m_a = \frac{m_{a,T}}{t} = 0,71 \frac{\text{Kg}}{h}$$

### G.3.2. Cálculo del caudal máximo de retiro

Las condiciones mediante las cuales se estableció el caudal máximo de retiro de la bomba de vacío se listan a continuación:

$$P_2 = 40 \text{ Torr}$$

$$T_2 = 305,56 \text{ K}$$

$$P_1 = 760 \text{ Torr}$$

$$T_1 = 273,33 \text{ K}$$

El flujo de vapor se considera un 15 % del flujo total de vapor manipulado en el condensador para tener un margen de seguridad en la operatividad de la bomba.

$$m_v = 10,25 \frac{\text{Kg}}{h}$$

La masa total de gases que circulará por la bomba es:

$$m_T = 10,96 \frac{\text{Kg}}{h}$$

Y el peso molecular promedio es:

$$PM = 118,45 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}$$

Evaluando en la ecuación general de los gases:

$$P_1 \cdot V_1 \cdot T_2 = P_2 \cdot V_2 \cdot T_1$$

$$V_B = \frac{7,84 * 760 * 550}{18,45 * 492} = 166,45 \frac{ft^3}{min} = 0,1 \frac{m^3}{s}$$

#### G.4. CÁLCULO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO INTERNO

Se dispone de una masa máxima de 1000 gal de Resina Fenólica que debe ser enfriada de 70 a 40 ° C. aproximadamente en 20 min. El Cp de la resina se puede suponer constante y aproximar al Cp de cualquier aceite mineral. El fluido refrigerante será agua con etilenglicol, para aumentar el enfriamiento, es decir, disminuir la temperatura del fluido.

El serpentín se colocará a lo largo del reactor y en posición central no muy alejado del agitador para promover un enfriamiento homogéneo.

##### G.4.1. Cálculo del calor intercambiado

$$C_{P_f} = 4186,8 \text{ J/Kg.K}$$

$$C_{P_c} = 2054,16 \text{ J/Kg.K}$$

$$T_{C_e} = 343,15 \text{ K}$$

$$T_{C_s} = 313,15 \text{ K}$$

$$m_C = 3169 \text{ Kg}$$

Donde:

$C_{P_f}$  = Capacidad calorífica del fluido frío

$C_{P_c}$  = Capacidad calorífica del fluido caliente

$T_{C_e}$  = Temperatura de entrada del fluido caliente

$T_{C_s}$  = Temperatura de salida del fluido caliente

$m_C$  = Flujo másico del fluido caliente

El calor se obtiene mediante un balance global de energía en el fluido caliente (la resina)

$$Q = m_c \cdot C_{p_c} \cdot (T_{c_e} - T_{c_s})$$

Sustituyendo, tenemos:

$$Q = 3169 \text{ Kg} * 2054,16 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} * (343,15 - 313,15) \text{ K} = 4776,28 * 10^8 \text{ J}$$

Debido a que el enfriamiento debe realizarse en un período de tiempo entre 20 y 30 minutos, como condición óptima para alcanzar las especificaciones de la resina, se obtendrá el flujo de calor para un período de tiempo de 20 min. ,y de este modo calcular el flujo volumétrico de fluido refrigerante por unidad de tiempo necesario para alcanzar el intercambio de calor deseado.

Tiempo de enfriamiento, t (min.) =20

Para obtener la masa de fluido refrigerante necesario para alcanzar la transferencia de calor deseada, se realiza un balance de energía en el fluido frío, considerando un  $\Delta T_{\text{máx}}$  de 10 K.

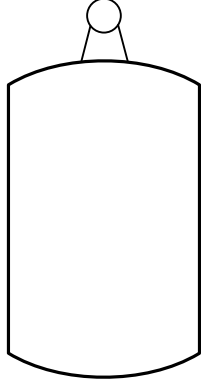
$$m_f = \frac{Q}{C_{p_f} \cdot \Delta T_f}$$

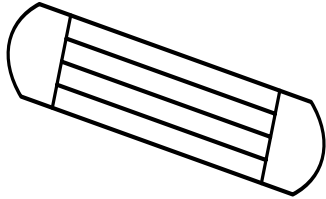
Sustituyendo los valores correspondientes:

$$m_f = 9,51 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

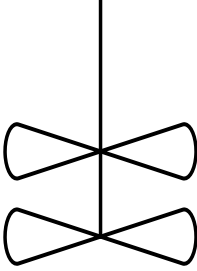
## APÉNDICE H HOJAS DE ESPECIFICACIONES

*A continuación se muestra de forma esquematizada las características principales de los equipos dimensionados para la línea de producción de resinas fenolicas tipo resol.*

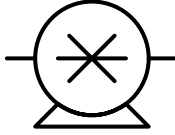
<p><b>UNIVERSIDAD DE CARABOBO</b></p>	<p><b>Formato de especificación de un reactor por carga</b></p>	<p>Fecha: Enero 2008</p>
<p><b>Identificación:</b> Código: R-0103 Servicio: Por carga Número requerido: 1 Posición: Vertical Tipo: Cilíndrico con cabeza hemisférica.</p>		
<p><b>Función:</b> En el reactor se lleva a cabo la policondensación del fenol y el formaldehído, en presencia de un catalizador de naturaleza básica, para producir resinas fenolicas tipo resol.</p>		
<p><b>Capacidad por unidad:</b> 1500 gal</p>		
<p><b>Datos del proceso:</b> <b>Fluido:</b> Fenol, formaldehído, hidróxido de sodio, metanol. <b>Flujo másico:</b> 2500 Kg/h <b>Temperatura de entrada:</b> 340 K</p>		
<p style="text-align: center;"><b>Características</b></p>		
<p><b>Dimensiones</b> Diámetro interno: 1.7m Diámetro externo: 1.8 m Altura: 2.4 m Espesor de la pared: 0.005 m Espesor de la placa deflectora: 0.18</p>	<p><b>Diseño</b> Material: Acero inoxidable SS 304. Presión de diseño: 75.0 psi Presión de la chaqueta: 150.0 psi Presión máxima del reactor: 125.0 psi Presión máxima de la chaqueta: 265.0 psi Temperatura máxima: 350.0 °F</p>	
<p><b>Observaciones:</b> Reactor marca D &amp; W Welding &amp; fab C.O, esta provisto de una chaqueta de calentamiento por la parte cilíndrica y por la parte inferior del tanque y un serpentín interno de enfriamiento en forma de espiral.</p> <p><b>Costo:</b> 40000 \$</p>		

<p><b>UNIVERSIDAD DE CARABOBO</b></p>	<p><b>Formato de especificación de un condensador tubo y coraza</b></p>	<p>Fecha: Enero 2008</p>
<p><b>Identificación:</b> Código: C-0103 Servicio: Coninuo Número requerido: 1 Posición: Horizontal inclinado Tipo: Tubo y coraza.</p>		
<p><b>Función:</b> Condensar el vapor de agua que se produce durante la reacción y mantener las condiciones dentro del reactor haciendo uso de un reflujo del condensado al sistema de reacción.</p>		
<p><b>Capacidad por unidad:</b> 135 gal</p>		
<p><b>Datos del proceso:</b> <b>Fluido:</b> Agua de enfriamiento, vapor de agua. <b>Flujo másico:</b> 24 Kg/s <b>Temperatura de entrada:</b> vapor de agua 359.15 K, agua de enfriamiento 293.15</p>		
<p style="text-align: center;"><b>Características</b></p>		
<p><b>Dimensiones</b> Diámetro interno de la coraza: 21.25 in Diámetro interno de los tubos: 0.61 in Diámetro externo de los tubos: <math>\frac{3}{4}</math> in Longitud del condensador: 1.82 m Espesor del tubo: 0.072 in</p>	<p><b>Diseño</b> Área de transferencia de calor: 372.61 ft<sup>2</sup> Numero de tubos: 318 BWG: 15 in Pitch: 1 in Arreglo: Triangular OTL: 19.5 in</p>	
<p><b>Observaciones:</b> Intercambiador tubo y coraza fluido, condensación del vapor de agua se lleva a cabo en la coraza.</p>		

**Costo: 30000 \$**

UNIVERSIDAD DE CARABOBO	Formato de especificación de un agitador	Fecha: Enero 2008
<b>Identificación:</b> Código: Ag-0103 Servicio: Coninuo Número requerido: 1 Posición: Vertical. Tipo: Paletas		
<b>Función:</b> Garantizar la agitación continua y uniforme de los reactivos dentro del reactor.		
<b>Capacidad por unidad:</b>		
<b>Datos del proceso:</b> <b>Fluido:</b> Fenol, formaldehído, catalizador, metanol. <b>Flujo másico:</b> 2500 Kg/h <b>Temperatura de entrada:</b> 340 K		
<b>Características</b>		
<b>Dimensiones</b> Diámetro: 0.9 m Altura del fondo del tanque: 0.22 m	<b>Diseño</b> Velocidad del agitador: 99.6 rpm Potencia del motor: 10 HP Espesor del impulsor: 0.11 m Espaciado de los impulsores: 0.81 m Material recomendado: acero inoxidable SS 304 o 316	
<b>Observaciones:</b> Agitador del tipo turbina de 6 palas inclinadas a 45°.		
<b>Costo: 40000 \$</b>		



<b>UNIVERSIDAD DE CARABOBO</b>	<b>Formato de especificación de una bomba de vacío</b>	Fecha: Enero 2008
<b>Identificación:</b> Código: Bv-0103 Servicio: Continuo	Número requerido: 1 Posición: Vertical. Tipo: Anillo liquido	
<b>Función:</b> Utilizada para el proceso de deshidratación de la resina, y para disminuir el calentamiento necesario para que se lleva a cabo la reacción.		
<b>Capacidad por unidad:</b> 0.1 m <sup>3</sup> /s		
<b>Datos del proceso:</b> <b>Fluido:</b> Condensado de agua. <b>Temperatura de entrada:</b> 291.15 K		
<b>Características</b>		
<b>Dimensiones</b> Largo: 1.35 m Ancho: 0.51 m Alto: 1.02 m Peso: 272.16 Kg	<b>Diseño</b> Fluido de sello: Agua Sistema de recuperación: Parcial Consumo de agua: 2.52 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> /s Rango de vacío: 0 – 91432.48 Pa Velocidad de retiro: 0.1 m <sup>3</sup> /s Potencia del motor: 15 HP Velocidad de la bomba: 170 rpm	
<b>Observaciones:</b>		
<b>Costo: 15000 \$</b>		

## APÉNDICE I

### MODELOS FINANCIEROS

*En la presente sección, se muestran los cálculos típicos necesarios para la determinación de los modelos financieros que hacen posible el estudio de la factibilidad del proyecto.*

### Estructura del flujo de caja:

$$[Balance]_{año_x} = [Ingresos - Egresos]_{año_x} \quad (F.1) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

Tomando como referencia el año numero uno = 2008, tenemos

$$[Balance]_{año_x} = 2190000 - 1113280 = 1076720\$$$

Donde:

$año_x$  = Año de estudio dentro del horizonte económico.

### Estimación de ingresos:

$$[Ingresos_{ventas}]_x = \left[ \sum_i \sum_j (unidad_{producto} * precio_{unidad})_{ij} \right]_x \quad (F.2) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$[Ingresos_{ventas}]_x = 600 * 3650 = 2190000\$$$

Donde:

$x$  = División del Horizonte Económico

$i$  = Mercado

$j$  = Cliente

#### a) Costo de tuberías

$$Costo_{tubería} = (\%) * Costo_{equipos} * [(15\% - 25\%)_{aislante1} + 1] \quad (F.3) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{tubería} = (15\%) * 116500 * [0,15 + 1] = 20096,25\$$$

**b) Costo de Estudios y Proyectos:**

$$Costo_{Estudios-Proyectos} = (35\%) * Costo_{equipos} \quad (F.4) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{Estudios-Proyectos} = (55\%) * 116500 = 64075\$$$

**c) Costo de Supervisión y Entrenamiento:**

$$Costo_{supervisión-entrenamiento} = (2\% - 7\%) * Costo_{equipos} \quad (F.5) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{supervisión-entrenamiento} = (2\%) * 116500 = 2330\$$$

**d) Costo de Arranque , Pruebas y Contingencias:**

$$Costo_{Arranque-Pruebas-Contingencia} = (8\% - 10\%) * \sum (a \rightarrow d) \quad (F.6) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{Arranque-Pruebas-Contingencia} = (8\%) * \left( \frac{14563 + 29125 + 15145 + 64075 +}{20096,25 + 11650 + 64075 + 2330} \right) = 17684,7\$$$

**Capital Fijo**

$$CapitalFijo = \sum_a^d (Costo_{CapitalFijo}) \quad (F.7) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$CapitalFijo = \left( \frac{14563 + 29125 + 15145 + 64075 + 20096,27 +}{11650 + 64075 + 2330 + 17684,7} \right) = 355243\$$$

**Capital de Trabajo:**

**a) Costo inventario de Materias Primas:**

$$Costo_{Inventario-Materia\ Primas} = \sum_i 30 * \left( \frac{TM_{consumo}}{día} * \frac{Costo}{TM} \right)_i \quad (F.8) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{Inventario-Materia\ Primas} = 30[(0,567 * 2,5) * 2700] + 30[(0,433 * 2,5) * 4,7] = 114833\$$$

Donde:

$i$  = Materia Prima

**b) Costo Inventario de Producto**

$$Costo_{Inventario-Pr\ oducto} = 30 * \left( \frac{TM_{producida}}{día} * \frac{Pr\ ecio}{TM} \right) \quad (F.9) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{Inventario-Pr\ oducto} = 30 * (2,5 * 5000) = 375000\$$$

**c) Costo Inventario Repuestos:**

$$Costo_{Inventario-Re\ puestos} = (10\% - 15\%) * Costo_{equipos} \quad (F.10) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{Inventario-Re\ puestos} = (15\%) * 116500 = 17475\$$$

**d) Costo por Salarios:**

$$Costo_{Salario} = \left( \frac{Sueldo}{gal} * Gal_{producción} \right)_i * 2 \quad (F.11) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{Salario} = 2 * (380 * 4) + 2 * (800) = 4640\$$$

**e) Efectivo en Caja:**

$$Efectivo_{Caja} = 30 * \left( \frac{TM_{producida}}{día} * \frac{Precio}{TM} \right) \quad (F.12) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Efectivo_{Caja} = 30 * (2,5 * 5000) = 375000\$$$

$$Capital_{Trabajo} = \sum_a^e (Costos_{Capital-Trabajo}) \quad (F.13) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Capital_{Trabajo} = [114833 + 375000 + 17475 + 4640 + 375000] = 886948\$$$

$$Inversión = Capital_{Fijo} + Capital_{Trabajo} \quad (F.14) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Inversión = (355243 + 886948) = 1242191\$$$

**Costos Directos:**

**a) Materia Primas:**

$$Materias_{Primas} = \sum_{i=MP} (TM_{Producto}) * Costo_i \quad (F.15) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Materias_{Primas} = ((0,567 * 2,5) * 2700) + ((0,433 * 2,5) * 0,47) = 3828\$$$

**b) Operadores de Planta:**

$$Beneficio_{año} = (16 - 21) * Salario_{mes} \quad (F.16) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Beneficio_{año} = 34887\$$$

**c) Supervisor Turno:**

$$Costo_{Supervisor-Turno} = (10\% - 15\%) * Costo_{operadores} \quad (F.17) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{Supervisor-Turno} = (15\%) * 34887 = 5233\$$$

**d) Materiales y Mantenimiento:**

$$Costo_{Materiales-Mante} = (Material + ManoObra) * Capital_{Fijo} \quad (F.18) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{Materiales-Mante} = (0,01 + 0,01) * 355243 = 7105\$$$

**e) Laboratorio:**

$$Costo_{Laboratorio} = (10\% - 20\%) * [Costo_{oper} + Costo_{Super}] \quad (F.19) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Costo_{Laboratorio} = (10\%) * [34887 + 5233] = 4012\$$$

**Costos Indirectos:****a) Seguros:**

$$Costo_{Seguros} = 1\% * Capital_{Fijo} \quad (F.20) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$\text{Costo}_{\text{Seguros}} = 1\% * 355243 = 3552,4345\$$$

**b) Seguridad y Protección , Servicios Médicos , Mantenimiento General Y gastos Otros:**

$$\text{Costo}_{\text{Seg, Pr ot, Serv, Mant, Otros}} = (50\% - 70\%) * \text{Costo}_{\text{Material-Mantenim}} \quad (\text{F.21}) \quad (\text{Gómez Núñez, 2004})$$

$$\text{Costo}_{\text{Seg, Pr ot, Serv, Mant, Otros}} = (50\%) * 7105 = 3552,4345\$$$

**Estimación de Gastos Generales**

**a) Gastos de Ventas:**

$$\text{Gasto}_{\text{Ventas}} = (2\% - 20\%) * \text{Costo}_{\text{Manufactura}} \quad (\text{F.22}) \quad (\text{Gómez Núñez, 2004})$$

$$\text{Gasto}_{\text{Ventas}} = (2\%) * (13954,80026 + 1055701) = 21391,11681\$$$

$$\text{Costo}_{\text{Manufactura}} = \text{Costo}_{\text{Directo}} + \text{Costo}_{\text{Indirecto}} \quad (\text{F.23}) \quad (\text{Gómez Núñez, 2004})$$

$$\text{Costo}_{\text{Manufactura}} = (3552,4345 + 3552,4345 + 56060) = 1058031\$$$

$$\text{Costo}_{\text{Producción}} = \text{Costo}_{\text{Manufactura}} + \text{Gasto}_{\text{Generales}} \quad (\text{F.24}) \quad (\text{Gómez Núñez, 2004})$$

$$\text{Costo}_{\text{Producción}} = (1058031 + 35395) = 1093426\$$$

**Estimación del Impuesto sobre la Renta (I.S.L.R.):**



$$Enriq = \frac{(Ingresos - Costo_{producción} - Intereses_{deuda})}{Valor_{UT}} \quad (F.25) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$Enriq = \frac{(2190000 - 1093426 - 48907)}{17,5} = 59867\$$$

$$I.S.L.R. = Tasa * (E) - Sustraendo \quad (F.26) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$I.S.L.R. = 0,34 * (59867) - 500 = 19855\$$$

### Determinación de la Factibilidad del proyecto:

Para obtener este indicador de factibilidad se utilizan indicadores económicos como el TIR y el VPN

### Cálculo del Valor Presente Neto (VPN):

$$VPN = \sum_{x=1}^n \frac{Fx}{(1+I)^{x-1}} \quad (F.27) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$VPN = \left( \begin{array}{l} -1242191 * (1+0,17)^{(-1242191)} + 1076720 * (1+0,17)^{(-1076720)} + 1743871 * (1+0,17)^{(-1743871)} + \\ 2457511 * (1+0,17)^{(-2457511)} + 3216398 * (1+0,17)^{(-3216398)} + 4021420 * (1+0,17)^{(-4021420)} + \\ 4872547 * (1+0,17)^{(-4872547)} + 5769767 * (1+0,17)^{(-5769767)} + 6712095 * (1+0,17)^{(-6712095)} + \\ 7700510 * (1+0,17)^{(-7700510)} + 8734032 * (1+0,17)^{(-8734032)} = 15461837 \end{array} \right)$$

### Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$\sum_{x=1}^n \frac{Fx}{(1+TIR)^{x-1}} = 0 \quad (F.28) \text{ (Gómez Núñez, 2004)}$$

$$\begin{aligned}
 TIR = & \frac{-1242191}{(1+0,8)} + \frac{1076720}{(1+0,8)^{1076720}} + \frac{1743871}{(1+0,8)^{1743871}} + \frac{2457511}{(1+0,8)^{2457511}} + \frac{3216398}{(1+0,8)^{3216398}} + \\
 & \frac{4021420}{(1+0,8)^{4021420}} + \frac{4872547}{(1+0,8)^{4872547}} + \frac{5769767}{(1+0,8)^{5769767}} + \frac{6712095}{(1+0,8)^{6712095}} + \frac{7700510}{(1+0,8)^{7700510}} + \\
 & \frac{8734032}{(1+0,8)^{8734032}} = 1748596,24
 \end{aligned}$$

**TABLA I.1**  
**GASTOS GENERALES**

<b>Descripción</b>	<b>Costo \$</b>
Administración	13954.80026
Manufactura	1058031
Ventas	21439.71681

**TABLA I.2**  
**PRESTAMO**

<b>AÑO</b>	<b>Capital (\$)</b>	<b>Tiempo de pago</b>	<b>Tasa de interés</b>	<b>Cuota (R)</b>	<b>Pago interés (Pi)</b>	<b>Pago del préstamo</b>	<b>Deuda capital</b>
1	1400000	1.5	0.1	1050926	140000	910926	489074
2	489074	1.5	0.1	367129	48907.38289	318222	170852
3	170852	1.5	0.1	128252	17085.2293	111167	59685
4	59685	1.5	0.1	44803	5968.527508	38835	20850
5	20850	1.5	0.1	15652	2085.036144	13567	7284
6	7284	1.5	0.1	5468	728.3832931	4739	2545
7	2545	1.5	0.1	1910	254.4522901	1656	889
8	889	1.5	0.1	667	88.88996842	578	311
9	311	1.5	0.1	233	31.05268372	202	108
10	108	1.5	0.1	81	10.84789638	71	38
11	38	1.5	0.1	28	3.789587298	25	13
12	13	1.5	0.1	10	1.32384855	9	5
13	5	1.5	0.1	3	0.462471199	3	2
14	2	1.5	0.1	1	0.161558972	1	1
15	1	1.5	0.1	0	0.056438761	0	0

**TABLA I.3**  
**IMPUESTOS SOBRE LA RENTA**

	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Ingresos</b>	2184175	2865175	3593175	4367175	5188175
<b>Costo de producción</b>	1092014	1092014	1092014	1092014	1092014
<b>Intereses deuda %</b>	48907	17085.2293	5968.527508	2085.036144	728.3832931
<b>Valor U.T. (\$)</b>	17.5				
<b>Enriquecimiento</b>	59615	100347.1951	142582.4352	187032.9204	234024.7291
<b>Tasa</b>	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
<b>Sustraendo</b>	500	500	500	500	500
<b>I.S.L.R.</b>	19769	33618	47978	63091	79068
	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Ingresos</b>	6056175	6971175	7932175	8940175	9994175
<b>Costo de producción</b>	1092014	1092014	1092014	1092014	1092014
<b>Intereses deuda %</b>	254.4522901	88.8899684	31.0526837	10.8478964	3.7895873
<b>Valor U.T. (\$)</b>	17.5				
<b>Enriquecimiento</b>	283651.8109	335946.986	390864.577	448465.731	508694.706
<b>Tasa</b>	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
<b>Sustraendo</b>	500	500	500	500	500
<b>I.S.L.R.</b>	95942	113722	132394	151978	172456

**TABLA I.4**  
**TASA DE SUSTRAYENDO**

<b>Personas Naturales</b>	<b>Tasa (%)</b>	<b>Sustraendo</b>
Fracción hasta 1000 UT	6	0
Fracción excedente de 1000 hasta 1500 UT	9	30
Fracción excedente de 1500 hasta 2000 UT	12	75
Fracción excedente de 2000 hasta 2500 UT	16	155
Fracción excedente de 2500 hasta 3000 UT	20	255
Fracción excedente de 3000 hasta 4000 UT	24	375
Fracción excedente de 4000 hasta 6000 UT	29	575
Fracción excedente de 6000 UT	34	875

<b>Compañías</b>	<b>Tasa (%)</b>	<b>Sustraendo</b>
Fracción hasta 2000 UT	15	0
Fracción excedente de 2000 hasta 3000 UT	22	140
Fracción excedente hasta de 3000 UT	34	500

## **ANEXOS**

*A continuación se muestran los resultados del cuestionario realizado al personal integrante de RESINAS MULTIPLES S.A.*