

T/660.2/H 652

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



“ELABORACION DE UN MATERIAL DE FRICCIÓN CON  
ALTA RESISTENCIA AL CORTE UTILIZANDO RESINA  
FENOL FORMALDEHIDO E IMPREGNADA EN TELAS DE  
FIBRA DE VIDRIO”

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUIMICO

FLORES LIMA, ARTEMIO

*Callao, Mayo 2015*

*PERÚ*



## PROLOGO DEL JURADO

El presente informe fue Expuesto por el bachiller **FLORES LIMA ARTEMIO** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes profesores ordinarios:

ING. PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO	: PRESIDENTE
ING. CARMEN MABEL LUNA CHAVEZ	: SECRETARIA
ING. CALIXTO IPANAQUE MAZA	: VOCAL
ING JUAN TAUMATURGO MEDINA COLLANA	: ASESOR

Tal como está asentado en el libro de Actas N°2 de Tesis Folio N°70 y Acta N° 253 de fecha **VEINTICUATRO DE ABRIL DE 2015**, para la obtención del título profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación por Tesis, de conformidad establecido por el reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011, Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de septiembre de 2012 y Resolución N° 759-2013-R de fecha 21 de agosto de 2013.

## **DEDICATORIA**

A mis padres por sus enseñanzas y sacrificios,  
por su apoyo constante y creer siempre en mí.

A mis hermanos por la fraternidad y cooperación.

A quienes luchan por sus sueños, incluso en la  
dificultad.

A quienes encuentran en la vida su opuesto  
como un regalo único.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional del Callao, por su infinita fuente de enseñanza académica, así como las valiosas lecciones de vida aprendidas a lo largo de mi estadía en esta maravillosa casa de estudios que me enriquecieron como persona y como profesional. No puedo olvidar mencionar el orgullo que siento de pertenecer a la Escuela de Ingeniería Química que junto al apoyo de sus valiosos profesores que aportaron todo su saber y conocimientos para completar esta etapa de mi vida.

A quienes con sus grandes aportaciones hicieron posible este trabajo y también a todos aquellos que han estado presentes, por haber plasmado su huella en mi camino.

## INDICE

INDICE .....	1
TABLAS DE CONTENIDO .....	4
RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
1.1. Identificación del problema .....	9
1.2. Formulación del problema.....	10
1.3. Objetivos de la investigación.....	10
1.4. Justificación .....	10
1.5. Importancia .....	12
II. MARCO TEORICO .....	13
2.1. Antecedentes del estudio.....	13
2.2. Marco Conceptual.....	13
2.2.1. Materiales de fricción.....	13
2.2.2. Fricción.....	14
2.2.3. Materiales Compuestos .....	14
2.2.4. Resinas Fenólicas .....	17
2.2.5. Fenol .....	19
2.2.6. Formaldehído .....	21
2.2.7. Resinas novolacas .....	22
2.2.8. Aplicaciones .....	23
2.2.9. Uso de la Novolaca Fenol-Formaldehido .....	24
2.2.10. Curado de las resinas.....	25
2.2.11. Reacción de entrecruzamiento de novolaca con HMTA.....	26
2.2.12. Análisis Factorial .....	27
2.3. Términos Básicos.....	28
III. VARIABLE E HIPOTESIS. ....	30
3.1. Variables de la investigación.....	30
3.2. Operacionalización de Variables.....	30
3.3. Hipótesis .....	31
3.3.1. Hipótesis General.....	31
3.3.2. Hipótesis específica.....	31

IV. METODOLOGIA.....	32
4.1. Tipo de investigación .....	32
4.2. Diseño de la Investigación .....	32
4.3. Población, muestra y ubicación .....	33
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
4.4.1. Plan de recolección y procesamiento de la información.....	35
4.4.2. Materiales.....	36
4.4.3. Reactivos y Soluciones .....	36
4.5. Procedimiento de recolección de datos .....	37
4.5.1. Formulación de la resina fenólica.....	38
A. Elaboración de la resina fenólica .....	40
B. Reactor .....	42
C. Proceso general.....	45
D. Descripción del proceso .....	48
4.5.2. Muestreo y cuarteo de la resina fenol formaldehído .....	50
4.5.3. Caracterización de la resina fenol formaldehído.....	50
A. Determinación del flujo de la resina .....	50
B. Determinación del set time de la resina - curado.....	51
C. Determinación del contenido de hexametilentetramina .....	52
D. Determinación el punto de fusión de la resina .....	52
E. Determinación el ph de la resina .....	53
F. Determinación del fenol libre en la resina .....	54
4.5.4. Caracterización de la de la mezcla resina – alcohol.....	55
A. Determinación de la densidad – método de la copa gardner.....	55
B. Determinación de la viscosidad brookfield.....	56
C. Determinación del contenido de sólidos .....	57
4.5.5. Condiciones óptimas del material de fricción .....	57
a. Preformado y prensado del material de fricción.....	57
B. Determinación de extracto acetónico.....	59
C. Determinación de la dureza gogan.....	61
D. Determinación de la resistencia al corte por cizallamiento. ....	61
4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos.....	63
4.6.1. Tratamiento Estadístico.....	63

4.6.2. Análisis Estadístico.....	63
V. RESULTADOS .....	65
5.1. Caracterización de la resina fenólica .....	65
5.2. Caracterización de la mezcla resina – alcohol .....	68
5.3. Diseño experimental .....	70
5.4. Pruebas de secado .....	80
5.5. Análisis ANOVA .....	81
5.5.1. Concentración: Resina – Alcohol 20/80 (Grupo N°1) .....	81
5.5.2. Concentración: Resina – Alcohol 30/70 (Grupo N°2) .....	85
5.5.3. Concentración: Resina – Alcohol 50/50 (Grupo N°3) .....	88
VI. DISCUSION DE LOS RESULTADOS .....	96
6.1. Contraste de la hipótesis con el resultado. ....	96
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares .....	97
VII. CONCLUSIONES.....	99
VIII. RECOMENDACIONES .....	101
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	102
9.1. Referencia - textos .....	102
9.2. Referencias – revistas.....	103
X. ANEXOS.....	104
10.1. Cantidad de reticulante en la Resina fenólica.....	104
10.2. Matriz de consistencia .....	105
10.3. Caracterización de la resina fenol-formaldehído.....	106
10.4. Caracterización de la resina fenólica – alcohol.....	108
10.5. Pruebas de resistencia .....	110

## TABLAS DE CONTENIDO

### CUADROS

2.1. Materias primas que componen un material compuesto.....	15
2.2. Clasificación de matrices utilizadas en materiales compuestos .....	16
2.3. Cronología de los polímeros termoestables .....	18
2.4. Relación de isómeros en las resinas novolacas .....	23
2.5. Distribución del consumo de resina fenólica .....	24
3.1. Operacionalización de las variables.....	30
4.1. Dimensiones del reactor de pruebas .....	42
4.2. Formula de la resina fenólica .....	44
4.3. Valores propuestos para la resina elaborada .....	46
4.4. características geométricas del material de fricción .....	55
4.5. Cuadro de ensayos ANOVA .....	64
7.1. Procedimiento óptimo de elaboración del material de fricción .....	101

### TABLAS

4.1. Densidad absoluta del agua .....	56
5.1. Longitud de flujo de la resina pura y compuesta.....	65
5.2. Tiempo de curado de la resina fenólica .....	66
5.3. Contenido de hexametilentetramina en la resina fenólica .....	66
5.4. Punto de fusión de la resina fenólica .....	67
5.5. Ph de la resina fenólica .....	67
5.6. Fenol libre en la resina fenólica.....	68
5.7. Densidad de la mezcla a diferentes concentraciones de resina .....	68
5.8. Viscosidad brookfield de la mezcla resina alcohol .....	69
5.9. Contenido de sólidos de la mezcla resina – alcohol .....	69
5.10. Matriz factorial multinivel del diseño experimental .....	70
5.11. Resistencia al corte por cizallamiento del material n°1 y n°2 .....	71
5.12. Resistencia al corte por cizallamiento del material n°3 y n°4 .....	72
5.13. Resistencia al corte por cizallamiento del material n°5 y n°6 .....	73
5.14. Resistencia al corte por cizallamiento del material n°7 y n°8 .....	74

5.15. Resistencia al corte por cizallamiento del material n°9 y n°10 .....	75
5.16. Resistencia al corte por cizallamiento del material n°11 y n°12 .....	76
5.17. Resistencia al corte por cizallamiento del material n°13 y n°14 .....	77
5.18. Resistencia al corte por cizallamiento del material n°15 y n°16 .....	78
5.19. Resistencia al corte por cizallamiento del material n°17 y n°18 .....	79
5.20. Registro de temperatura de secado versus el tiempo .....	80
5.21. Anova unidireccional 20/80 .....	81
5.22. Agrupación Tukey 20/80.....	82
5.23. Agrupación Fisher 20/80.....	83
5.24. Anova unidireccional 30/70.....	85
5.25. Agrupación Tukey 30/70.....	86
5.26. Agrupación Fisher 30/70.....	87
5.27. Anova unidireccional 50/50.....	88
5.28. Agrupación Tukey 50/50.....	89
5.29. Agrupación Fisher 50/50.....	90
5.30. Resultados de las experiencias n°1 - n°9.....	91
5.31. Resultados de las experiencias n°10 - n°18.....	92
5.32. Resistencia al corte de las pruebas.....	95
6.1. Comparacion de resultados.....	97
10.1. Cantidad de reticulante (Hexa) en la resina.....	104

## GRAFICAS

5.1. Longitud de corrido de la resina pura y compuesta.....	65
5.2. Temperatura de secado versus el tiempo.....	81
5.3. Concentración resina – alcohol (20:80).....	85
5.4. Valores individuales de las experiencias.....	93
5.5. Probabilidad normal de las experiencias.....	93
5.6. Diagrama de cajas.....	94
5.7. Variables múltiples de resistencia al corte por concentración .....	95
10.1. Comportamiento reologico de la resina - reticulante .....	104

## FIGURAS

2.1. Formación del hidroperóxido de cumeno (HPC).....	19
2.2. Formación del fenol y la acetona.....	20
2.3. Obtención de fenol en presencia de un catalizador .....	20
2.4. Mecanismo de formación del prepolímero de una novolaca.....	22
2.5. Representación de las etapas del curado.....	22
4.1. Representación del procedimiento experimental.....	34
4.2. Reactor de polimerización.....	43
4.3. Dispositivo de aplicación de la carga de corte.....	62
10.1. Determinación del reticulate (hexametilentetramina) .....	106
10.2. Determinación del punto de fusión (grado de polimerización) .....	106
10.3. Determinación del set time (formación de ligantes) .....	107
10.4. Determinación del flujo de corrido de la resina .....	107
10.5. Resina fenol formaldehído (sólido) .....	108
10.6 mezcla resina – alcohol .....	108
10.7. Viscosidad - brookfield .....	109
10.8. Densidad – picnómetro garner .....	109
10.9. Material impregnado .....	110
10.10. Probeta de ensayo .....	110

## RESUMEN

En este trabajo se elaboró un material de fricción resistente al corte por cizallamiento, este servirá como transmisor de movimiento y a la vez como protector de otras partes más delicadas y caras de máquinas industriales que puedan estar expuestas a vibraciones.

Para poder obtener un material de fricción con estas características, se buscó materiales adecuados que cumplan fehacientemente su función, uno de ellos y el más importante es la resina fenol-formaldehido, este sirvió como aglutinante y contribuyente de la dureza y resistencia del material, es por ello importante determinar sus características físico-químicas, además de determinar las condiciones óptimas del proceso de obtención de dicho material.

El procedimiento consistió en disolver la resina fenol-formaldehido (elaborada y caracterizada) en alcohol etílico en una proporción de 50/50, una vez disuelta se procedió a impregnar la tela cardada de fibra de vidrio estableciendo parámetros adecuados de control, tales como tiempo de impregnación (50 min) y tipo de secado (aire caliente). Diseñado la forma del material en este caso de un disco dentado, la tela impregnada pasa al proceso de pre formado dando así la forma deseada, luego es sometido a un prensado donde se establecerá parámetros del proceso tales como presión (20,70 MPa), temperatura (150°C) y tiempo de prensado (8 min).

Se realizaron pruebas de resistencia al corte por cizallamiento a los dientes del disco porque son estos los que estarán expuestos a una fuerza de corte. Para el tratamiento de datos se utilizó el método estadístico de la ANOVA y la pruebas de Tukey y Fisher.

Mediante esta investigación se pretende dar una metodología limpia para la realización de materiales de fricción en forma específica para la aplicación descrita anteriormente.

**Palabras clave:** Resina fenólica, impregnación, cizallamiento, disco dentado, ANOVA.

## ABSTRACT

In this work a friction resistant material developed shear cut, this movement will serve as transmitter and also as protector more delicate and expensive parts of industrial machines that may be exposed to vibration.

To obtain a friction material with these characteristics, suitable materials that reliably fulfill their function, one and the most important is the phenol-formaldehyde resin is reached, this will serve as a binder and contributor to the strength and toughness of the material is therefore important to determine their physicochemical characteristics, and to determine the optimal process conditions for obtaining such material.

The procedure was to dissolve the phenol formaldehyde resin (prepared and characterized) in ethyl alcohol in a ratio of 50/50 dissolved once proceeded to impregnate fabric fiberglass carded establishing appropriate control parameters, such as time impregnating (50 min) and drying type (hot air). Designed shape of the material in this case a toothed disc, the impregnated fabric passes to process pre formed thus giving the desired shape, then subjected to pressing which process parameters such as pressure (20.70 MPa) is established, temperature (150 ° C) and pressing time (8 min).

Resistance tests were performed at shear cutting teeth disk because it is they who will be exposed to a shearing force. For statistical data processing, method ANOVA and Fisher test was used Tukey.

Through this research it is to give a clear methodology for conducting friction materials specifically for the application described above.

**Keywords:** Phenolic resin, impregnation, shearing, toothed disc, ANOVA.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Identificación del problema**

Los materiales de fricción constituyen una parte fundamental del diseño de elementos de máquinas, actualmente es común ver estos dispositivos principalmente en cualquier tipo de automóviles o máquinas industriales, incluso su simple mención está relacionada con ellos. Sin embargo, cabe mencionar que a pesar de la enorme aplicación que tienen en la industria automotriz y ser componentes fundamentales en partes de máquinas herramientas, mecanismos móviles, aparatos elevadores, turbinas, motores, etc. estos carecen muchas veces de un buen comportamiento ya que existen innumerables factores que actúan en contra del comportamiento de estos, como las altas temperaturas, desgaste de los materiales, el entorno corrosivo, fallas en el material, inadecuada aplicación, etc.

Es por ello que es necesario reducir el riesgo de falla y optimizar el funcionamiento tomando en cuenta los materiales que lo constituyen, principalmente el aglutinante en nuestro caso la resina fenol formaldehído, el cual es el componente principal, también tener en cuenta las fibras que constituyen el material de fricción, para luego obtener un material de alta resistencia al corte, con diversas aplicaciones industriales.

Todo esto tomando en cuenta el ámbito ambiental que en la actualidad es de suma importancia, no solo por el cumplimiento legal que el estado requiere, sino por la responsabilidad que conlleva dar un producto seguro y amigable al medio ambiente.

## **1.2. Formulación del problema**

### **❖ Problema general**

¿Cuál debe ser el procedimiento para elaborar un material de fricción de alta resistencia al corte por cizallamiento?

### **❖ Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles deben ser las características físico químicas de la resina fenol formaldehído elaborada para la obtención del material de fricción resistente al corte por cizallamiento?
- b) ¿Cuáles deben ser las condiciones óptimas del proceso para obtener un material de fricción de alta resistencia al corte por cizallamiento?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **❖ Objetivo general**

Determinar el procedimiento de elaboración del material de fricción resistente al corte por cizallamiento.

### **❖ Objetivos específicos**

- a) Determinar las características físico-químicas de la resina fenol formaldehído elaborada para la obtención del material de fricción resistente al corte por cizallamiento.
- b) Conocer las condiciones óptimas del proceso para la obtención de un material de fricción de alta resistencia al corte por cizallamiento.

## **1.4. Justificación**

El desarrollo industrial de los países requiere de constante investigación dirigida hacia la implementación de tecnología actualizada y adecuada a las necesidades que se plantean en

cada momento, tanto de carácter económico, como social o medioambiental.

#### ❖ **Justificación tecnológica**

El desarrollo de nuevas formas de elaborar materiales de fricción teniendo en cuenta el comportamiento de cada componente y aprovechando las características que nos proporcionan cada uno de estos, tanto en resistencia, tenacidad, color y apariencia hacen que tenga un gran interés desde el punto de vista científico y tecnológico para este sector de la industria.

La utilización de la resina fenol formaldehído es muy común en diferentes sectores, tales como en la industria de pinturas, componentes electrónicos, revestimientos, adhesivos, materiales abrasivos (rígidos y flexibles), materiales refractarios, etc. Es por ello que su utilización es de gran interés para el sector industrial.

#### ❖ **Justificación Legal**

La utilización de componentes nocivos para tales materiales ponen en peligro en muchos casos el equilibrio de los distintos ecosistemas, la salud pública de habitantes y de los que lo elaboran, esto debido a que no se cumplen con los límites máximos permisibles (LMP) que dispone la ley: **DS N° 015-2005-SA (Reglamento valores LMP para agentes de riesgo en ambientes de trabajo)**

El creciente aumento en la sensibilidad de la opinión pública ante el problema de la contaminación que es generado por las industrias, ha hecho que el control de los residuos sea más exigente día a día y que se estén introduciendo normas cada vez más restrictivas sobre el contenido permitido de compuestos tóxicos o peligrosos. Ante el dilema que plantea la protección de la salud pública frente al progreso, se está haciendo imprescindible la incorporación de tecnologías más o menos sofisticadas para la depuración de las sustancias peligrosas.

### ❖ **Justificación Económica**

Teniendo en cuenta un aprovechamiento óptimo de cada componente, el adecuado control de pérdidas operativas, la utilización de una metodología limpia, el marco legal y medio ambiental, se puede obtener un producto de calidad y de bajo costo que cumplan con las especificaciones que requiere el mercado.

### **1.5. Importancia**

En cuanto a su alcance, esta investigación abrirá nuevos caminos para estudios similares, ya que en la industria se busca nuevos procedimientos eficientes, en la actualidad dichos materiales son muy utilizados como dispositivos de seguridad, es por ello la importancia de obtenerlos de una forma eficiente y que cumplan con sus funciones adecuadamente.

## II.

## MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

Alonso Rubio, María Virginia (2002) en su tesis doctoral de Ciencias Químicas: "Formulación y curado de resinas fenol-formaldehido tipo Resol", evalúa el mecanismo de curado de la resina dependiendo de la aplicación final del producto.

Arboleda Orlando (2008) en su tesis: "*Resina polimérica reforzada con fibra de vidrio para la fabricación de partes de uso general en la ingeniería*"; proporciona cualidades ventajosas de estos materiales y sus aplicaciones.

Vásquez, Analía (2005) en su tesis doctoral: "*Materiales compuestos a partir de resinas fenólicas modificadas*", caracterizo la resina fenólica y vario la relación molar formaldehido/fenol y estudio sus estructuras por medio de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

Marín Lira, Rigoberto en su trabajo de investigación en la UNIFIQT: "*Sistemas formadores de Tejidos especiales*", detalla el uso de los tejidos técnicos en los diferentes sectores de la industria y su importancia que hoy en día representan.

### 2.2. Marco Conceptual

#### 2.2.1. Materiales de fricción

Son piezas metálicas, semimetálicas, orgánicas, inorgánicas o una combinación de ellas, las cuales representan una parte fundamental en el mecanismo de una máquina, estas convierten la energía cinética en energía térmica por fricción, las cuales están

sujetas a altas temperaturas, ambientes corrosivos, esfuerzos cortantes y desgastes excesivos, esto debido a que una de sus finalidades es parar el movimiento producido por el motor de una máquina.

Los materiales también son utilizados como parte de piezas que transmiten el movimiento de rotación producido por los motores (conectan y desconectan el movimiento que transmite el motor).

### 2.2.2. Fricción

Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción cinética) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Las fuerzas de fricción son importantes en la vida cotidiana ya que nos permiten caminar y correr. Toda fuerza de fricción se opone a la dirección del movimiento relativo.

### 2.2.3. Materiales Compuestos

Un material compuesto presenta dos elementos principales: *refuerzo* y *matriz*. La combinación adecuada de estos componentes origina materiales con mejores propiedades que las de los integrantes por separado. Además de refuerzo y matriz, existen otros tipos de componentes como cargas y aditivos que dotan a los materiales compuestos de características peculiares para cada tipo de fabricación y aplicación. Se entiende por refuerzo a las fibras del material de fricción y matriz al aglomerante en nuestro caso el polímero.

En general, cuando no se especifica, se entiende por **composite**, aquel material compuesto formado por fibras rectas y largas situadas en el interior de una matriz que mantiene las fibras unidas y distribuye los esfuerzos. Las fibras soportan la mayor parte de las cargas mientras que la matriz se responsabiliza de la tolerancia al daño (golpes) y del comportamiento a la fatiga.

**CUADRO 2.1**  
**MATERIAS PRIMAS QUE COMPONEN UN MATERIAL COMPUESTO**

<b>FIBRAS</b>	<b>Fibras Cerámicas</b> (Carburo de Silicio, alúmina)
	<b>Fibras Metálicas</b>
	<b>Fibras Inorgánicas</b> (Carbono, vidrio, boro)
	<b>Fibras Orgánicas</b> (Aramida, polietileno)
<b>MATRICES</b>	<b>Matrices Inorgánicas</b> (Cemento, geopolímeros, yeso)
	<b>Matrices termoestables</b> (Epoxi, poliéster, fenólica, poliimidas)
	<b>Matrices termoplásticas</b> (Copolímeros de estireno, polipropileno, acetato, polieter-cetona)
<b>NUCLEOS</b>	<b>Nido de abeja</b> (Aluminio, nomex, polipropileno)
	<b>Espumas</b> (Poliuretano, poliestireno, policloruro de vinilo)
	<b>Tejido 3D, madera de balsa.</b>
<b>ADHESIVOS</b>	<b>Epoxi, poliuretano, acrílicos</b>
<b>RECUBRIMIENTO</b>	<b>Cerámicos, fenólicas, epoxi + arena</b>

*Fuente: Composites Engineering Handbook-1997*

#### ❖ **Matrices Orgánicas**

La matriz es el componente que envuelve y liga las fibras repartiendo los esfuerzos. También, a menos que la matriz elegida sea especialmente flexible, evita el pandeo de las fibras por compresión.

Las matrices que forman parte de los materiales compuestos pueden ser orgánicas o inorgánicas. En esta tesis el componente principal es una matriz orgánica que por lo general es un compuesto orgánico de elevado peso molecular producto de reacciones de polimerización, por adición o condensación, de diferentes compuestos de base.

En la siguiente tabla aparecen las principales matrices utilizadas para la formación de materiales compuestos.

CUADRO 2.2

CLASIFICACIÓN DE MATRICES UTILIZADAS EN MATERIALES COMPUESTOS

INORGANICAS	Cementos, yeso, geopolimeros, cerámicas de varios tipo, metales	
ORGÁNICAS	TERMOESTABLES	Epoxi, Vinilester, Poliéster, Fenólicas, Furánicas, Cianoesteres, Bismaleimidias, Poliimidias, Polieteramidias, etc
	TERMOPLASTICOS	Policloruro de vinilo (PVC), Copolímeros de estireno (ABS, SAN), polietileno (PE), Polipropileno (PP), Policarbonato (PC), Polimetacrilato de metilo (PMMA), Acetato poliestireno (PS), Poliosimetileno (POM), Tereftalato de butileno (PBT), Polieterimida , (PEI), Tereftalato de polietileno (PET) , Poliamida (PA), Poliéter-éter-cetona (PEEK), Poliéter-cetona-cetona (PEKK)

Fuente: *Composites Engineering Handbook-1997*

En las matrices orgánicas una primera clasificación las diferencia entre **termoestables** y **termoplásticas**.

Los **polímeros termoestables** se conforman mediante calentamiento en una transformación irreversible. Las principales resinas termoestables son los poliésteres insaturados, las resinas epoxi y las resinas fenólicas. Los materiales compuestos de matriz termoestables representan un 70% de los composites transformados en Europa.

Las resinas termoestables son líquidas a temperatura ambiente y deben curarse para alcanzar el estado sólido por medios químicos a temperatura ambiente, por calentamiento o mediante la acción de diferentes tipos de radiación (ultravioleta, haz de electrones, rayos gamma o microondas). Una vez curadas, las resinas termoestables están muy reticuladas y no pueden volver a fundirse sin sufrir una seria degradación, generalmente son insolubles. Sin embargo, pueden ser atacadas por algunos disolventes y algunos agentes

químicos (incluso el agua) especialmente a alta temperatura, que les puede provocar un ablandamiento, ensanchamiento y reducción de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ).

#### **2.2.4. Resinas Fenólicas**

Los polímeros se pueden agrupar en tres categorías según su grado de reticulación, es decir, atendiendo al entrecruzamiento entre sus cadenas poliméricas. Los polímeros termoplásticos están formados por cadenas independientes que tienen poco o ningún grado de reticulación, se disuelven en disolventes y funden fácilmente. Los elastómeros están formados por cadenas ligeramente ligadas entre ellas, característica que les da propiedades elásticas. El tercer grupo incluye a los polímeros termoestables, que presentan un entrecruzamiento total entre sus cadenas, lo que se conoce como "curado". A este tipo de polímeros se les denomina habitualmente "resinas".

La primera resina sintética fenólica fue producida por von Baeyer en 1872. La reacción consistía en la policondensación de fenol con aldehídos. Blumer, en 1902, fue el primero en proponer la reacción de condensación de resinas tipo fenol para la producción de "novolacas" (resinas fenol-formaldehído ácidas) a nivel industrial. Llevó a cabo la policondensación de fenol y formaldehído en varias etapas para producir una resina termoestable dirigida a la producción de plásticos y a la sustitución de resinas de origen natural, las cuales se empleaban a gran escala para barnices.

Desde su introducción en 1910, las resinas fenólicas han jugado un papel vital en los sectores de la construcción, del automóvil, eléctrico, etc. La industria de las resinas fenólicas ha seguido en continuo desarrollo hasta nuestros días. En el cuadro 2.3 se han recopilado los acontecimientos más relevantes relacionados con los polímeros termoestables desde su aparición hasta la actualidad.

### CUADRO 2.3

#### CRONOLOGÍA DE LOS POLÍMEROS TERMOESTABLES

AÑO	ACONTECIMIENTO
1872	Adolph von Baeyer realizó el primer experimento para la producción de fenol formaldehído condensado.
1902	Primera resina sintética desarrollada, llamada "Laccain", la cual sustituyó al "shellac".
1907	L.H. Baekeland patentó "calor y presión" en el curado de resinas fenólicas.
1910	Se funda en Berlín la Compañía Bakelite. Fabricación de componentes de moldeo y resinas a nivel industrial.
1910	L. Berend desarrolló la primera resina sintética de pinturas solubles en aceite.
1922	Primera patente para la producción de resinas urea-formaldehído solubles en disolventes orgánicos (BASF).
1934	Desarrollo de las resinas epoxi por Pierre Castan.
1935	Desarrollo de las resinas de melanina-formaldehído.
1936	C. Ellis descubre el curado de poliéster insaturado en presencia de poliestireno.
1948	Primera patente para la producción de resinas termoestables solubles en agua por H. Hönel.
1960	Introducción de resinas furano en la industria de la fundición.
1964	Desarrollo de componentes de moldeo por inyección.
1970-1975	Resinas fenólicas para la producción de materiales resistentes al calor en la industria aeroespacial (USA).
1982	Resinas fenólicas enlazadas a componentes FRP (polímeros reforzadores de fibra, plástico) en la ingeniería del automóvil y aeronáutica.
1990	Uso de resina epoxi-fenólica para "composites" en la industria del transporte.
1993	Empleo de taninos modificados en resinas para la producción de adhesivos para la madera.
1995	Introducción de resinas fenólicas para la producción de FRP por extrusión.

**Fuente: Gardziella y col. 2000.**

Las resinas fenólicas son producidas por la reacción entre compuestos con carácter fenólico y aldehídos. Las representaciones más importantes de estos compuestos son el fenol y el formaldehído. A continuación se describirán sus propiedades y su proceso de obtención.

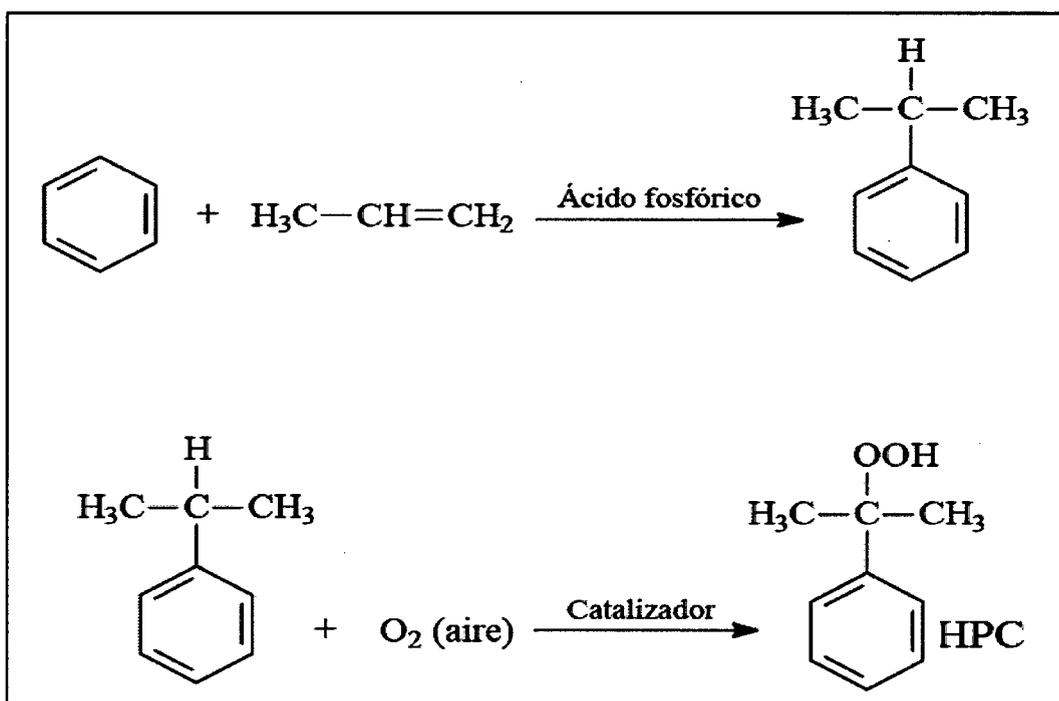
### 2.2.5. Fenol

El fenol pertenece a la familia de los compuestos aromáticos con un grupo hidroxilo unido directamente al anillo aromático. Difiere de los alcoholes porque tiene un comportamiento de ácido débil y se disuelve bien en hidróxido sódico, aunque es insoluble en disoluciones de carbonato sódico.

El proceso sintético más importante en la producción de fenol se basa en la oxidación del cumeno o isopropilbenceno (proceso Hock), el cual se obtiene a partir de la reacción de alquilación del benceno con propileno en presencia de ácido fosfórico como catalizador.

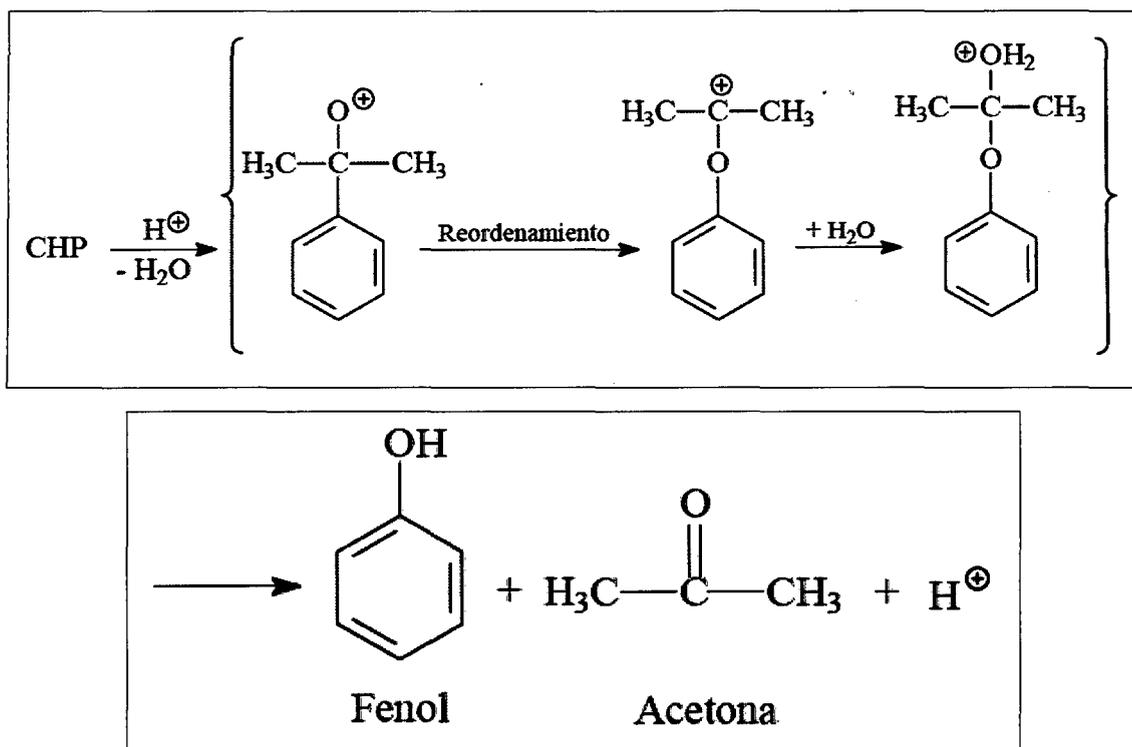
FIGURA 2.1

#### FORMACIÓN DEL HIDROPERÓXIDO DE CUMENO (HPC)



Fuente: KLAUS - Química orgánica Industrial-1981

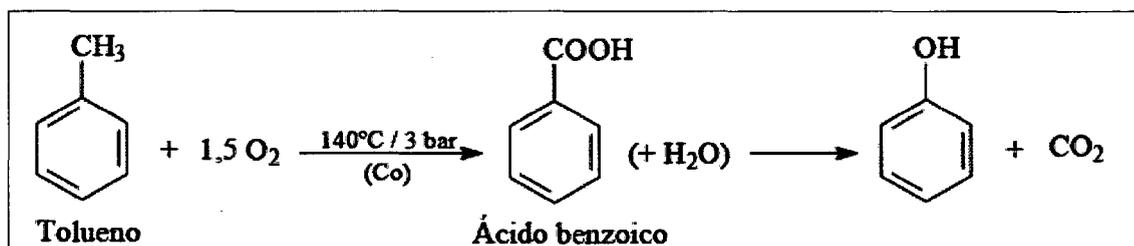
**FIGURA 2.2**  
**FORMACIÓN DEL FENOL Y LA ACETONA**



**Fuente: KLAUS - Química orgánica Industrial-1981**

El proceso de oxidación de tolueno desarrollado por Dow Chemical consta de dos etapas y es otra forma de obtener el fenol. En la primera, el tolueno se oxida en fase líquida en presencia de un catalizador de cobalto obteniendo ácido benzoico y varios subproductos. En la siguiente etapa, el ácido benzoico se descarboxila en presencia de aire y de un catalizador de cobre para producir fenol, tal y como se muestra a continuación:

**FIGURA 2.3**  
**OBTENCIÓN DE FENOL EN PRESENCIA DE UN CATALIZADOR**



**Fuente: KLAUS - Química orgánica Industrial-1981**

Aunque la producción mayoritaria del fenol provenga de la industria del petróleo, en momentos deficitarios o de precios elevados se obtiene a partir del carbón. La primera fuente carboquímica del fenol es el producto de cabeza de la destilación del alquitrán de hulla procedente de la coquización del carbón. Esta corriente tiene hasta un 25 % en peso de fenol, el cual se extrae con hidróxido sódico.

La otra posible fuente carboquímica de fenol es la gasificación del carbón en lecho fijo (proceso Lurgi), que proporciona entre 3 y 10 kg de este compuesto por tonelada de carbón procesado. El aislamiento y purificación del fenol del corte en que se encuentra es similar al ya descrito.

#### 2.2.6. Formaldehído

El formaldehído es el único compuesto carbonilo que se emplea para la síntesis de resinas fenólicas. Hay ciertas resinas especiales que se formulan con otros aldehídos, como por ejemplo acetaldehído, furfural, glioxal, pero que no tienen tanto interés a nivel comercial. Se presenta en fase acuosa estabilizado con metanol formando hemiformales. En fase gaseosa es altamente irritante.

El proceso de obtención del formaldehído consiste en la deshidrogenación del metanol en presencia de un catalizador de óxido de hierro/molibdeno o de plata. La reacción parte de una mezcla de metanol y aire, el cual actúa como oxidante en presencia del catalizador. A continuación, el formaldehído se purifica, eliminando el metanol sin reaccionar. En los tanques de almacenamiento se adicionan inhibidores para retardar la formación de paraformaldehído.

Actualmente, se siguen investigando nuevos métodos para la obtención de formaldehído. Cabe destacar el proceso de oxidación directa del metano con aire a 450°C y 10-20 bar de presión en presencia de fosfato de aluminio como catalizador.

La formulación de resinas fenólicas está influida por varios factores, cuales son la relación molar fenol/formaldehído, el



catalizador (ácido, básico, sales metálicas o enzimas) y el tipo de resina, termoplástica o termoestable

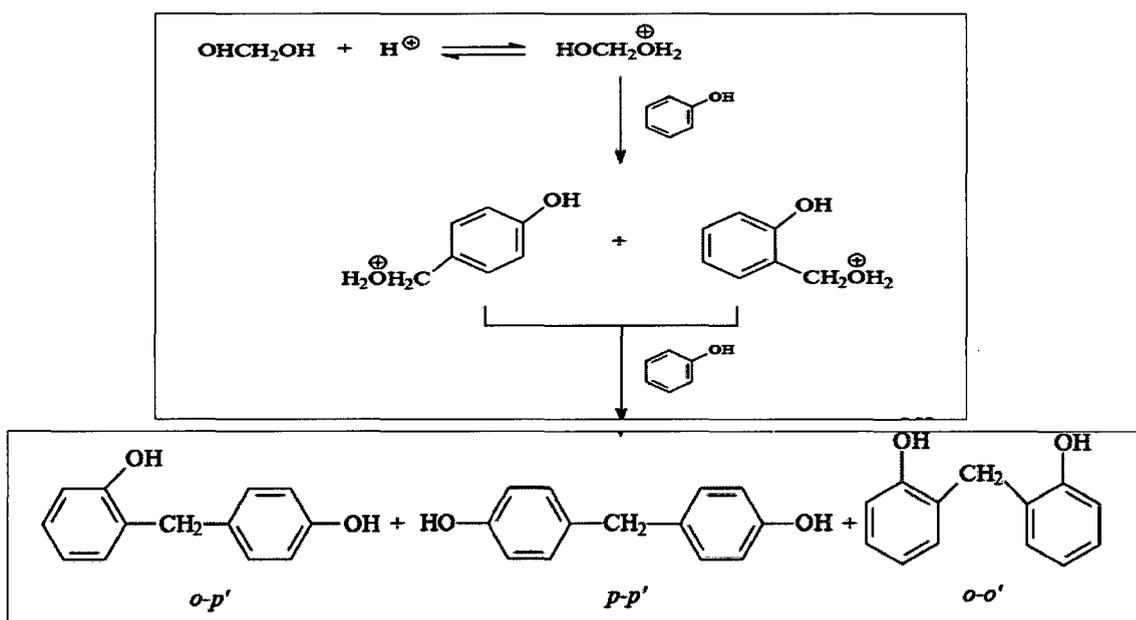
### 2.2.7. Resinas novolacas

Las novolacas se obtienen por reacción del formaldehído con exceso de fenol en medio ácido. En la primera etapa de reacción se protona el metilenglicol (formaldehído hidratado) para formar el ión hidroximetilencarbonio, que actúa como agente hidroxialquilante reaccionando con el fenol en posiciones orto y para. Se produce un intermedio de transición, el ión carbonio, que se transforma en una mezcla de isómeros del dihidroxicidifenilmetano del tipo: o-p', p-p' y o-o', como se muestra en la Figura 2.4

En la siguiente etapa se adiciona un agente de curado (HMTA) para que el prepolímero policondense y forme una resina termoestable. Las resinas novolacas convencionales se caracterizan por ser sintetizadas en medio ácido y con una relación molar formaldehído-fenol en el intervalo 0,75:1-0,85:1. Los catalizadores más empleados en la actualidad son el ácido oxálico, el ácido sulfúrico y el ácido p-tolueno sulfónico.

FIGURA 2.4

MECANISMO DE FORMACIÓN DEL PREPOLÍMERO DE UNA NOVOLACA.



Fuente: KLAUS - Química orgánica Industrial-1981

Un factor de importancia en las resinas novolacas es su contenido final de agua, que tiene una gran influencia sobre su plasticidad. Así, por ejemplo, la modificación en sólo un 1 % del contenido de agua de una resina con un peso molecular medio entre 450 y 700 Daltons puede reducir su temperatura de fusión en unos 3-4 °C (Knop y col., 1985).

Otras resinas novolacas son las formuladas con una alta proporción de enlaces orto-orto' en el intervalo de pH 4-7. Estas resinas se caracterizan fundamentalmente por tener una alta velocidad de curado con hexametilentetramina y un interesante comportamiento reológico. Ambas características les confieren un gran atractivo en aplicaciones como la fundición y los materiales de moldeo.

Finalmente, las resinas novolacas "híbridas" se formulan en dos etapas. En la primera se emplean pH bajos (intervalo de pH de 5-6) y se adiciona el fenol y el formaldehído en presencia de un catalizador constituido por una sal de Mn, Mg, Cd o Co.

En la segunda, en la que se eliminan los volátiles (agua y fenol), se obtiene una resina sólida híbrida, intermedia entre una novolaca convencional y una resina con una alta proporción de enlaces orto.

**CUADRO 2.4**  
**RELACION DE ISOMEROS EN LAS RESINAS NOVOLACAS**

	o-o' (%)	p-p' (%)	o-p' (%)
Novolacas convencional	10	45	45
Hibrido	35	25	42
Predominio de enlaces Orto	60-67	--	33-40

*Fuente: Gardziella y col. 2000.*

### 2.2.8. Aplicaciones

El campo de aplicación de las resinas fenólicas tanto resoles como novolacas es muy amplio y diverso. En el cuadro 2.5, que

muestra una serie de aplicaciones de las mismas y sus correspondientes consumos, se ponen de manifiesto las diferencias existentes entre los mercados de Europa y de los Estados Unidos. En el caso de este último, el volumen de resinas fenólicas empleadas en los sectores de materiales de madera y productos de aislamiento (productos de la construcción) supone alrededor del 72-75 % del total.

En el caso de Alemania, situación que es extensible a Europa Occidental, sólo se emplea un volumen de un 45-47 % en el área de la construcción. El porcentaje de resinas fenólicas destinadas a compuestos de moldeo es mayor en Alemania (15%) que en USA (6%).

**CUADRO 2.5**  
**DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE RESINA FENOLICA**

<b>APLICACIÓN</b>	<b>RESINA EN EL MATERIAL (%)</b>	<b>PRINCIPAL TIPO DE RESINA</b>
Materiales de madera	10	Resol acuosa
Materiales aislantes (fibras orgánicas)	3	Resol acuosa alcalina
Fibras inorgánicas	30	Novolaca en polvo
Compuestos de moldeo	40	Novolaca solida o resol
Laminas	30-50	Resol acuosa
Pinturas y adhesivos	50	Resol o novolaca en disolución
Fundicion y Refractarios	2	Novolaca sólidas, resol acuosas y novolaca/HMTA en polvo
Abrasivos	12	Resol acuosa y novolaca/HMTA en polvo modificada
Fricción	10	Resol acuosa y novolaca/HMTA en polvo modificada

**Fuente: Gardziella y col. 2000.**

### **2.2.9. Uso de la Novolaca Fenol-Formaldehido**

Se describen diferentes aplicaciones de las resinas novolacas, atendiendo en este caso, al empleo o no de agentes entrecruzantes

en su formulación, entre los que destaca la hexametilentetramina (HMTA).

#### ❖ **Novolaca entrecruzada**

Las resinas novolacas se emplean añadiendo un agente de curado (normalmente HMTA), que permite obtener un polímero termoestable. Algunas veces incluso se usan resinas resol para curar este tipo de prepolímero. Cuando a la novolaca se le añade un agente endurecedor, rellenos y aditivos, se obtiene un material de moldeo con buenas propiedades de fluidez y con rápido curado.

#### **2.2.10. Curado de las resinas**

El curado de las resinas consiste en el aumento del tamaño de sus moléculas a través de procesos de alargamiento, ramificación y entrecruzamiento de las cadenas hidrocarbonadas para formar una red tridimensional de elevado peso molecular.

El curado de las resinas termoestables es una de las etapas más importantes en el desarrollo de las propiedades de las resinas fenólicas. Es necesario caracterizar su curado conforme avanza el entrecruzamiento del polímero.

Se trata en esta ocasión del llamado curado "mecánico". En realidad, el curado es un único proceso, si bien, según las técnicas aplicadas para seguir su evolución, se distingue entre los términos químico y mecánico. Para tener una visión global del curado, se suele combinar dicha caracterización con modelos cinéticos al efecto, de tal forma que el proceso se pueda expresar en función de las variables de la formulación para los diferentes perfiles de temperatura-tiempo de la operación.

#### ❖ **Proceso de curado**

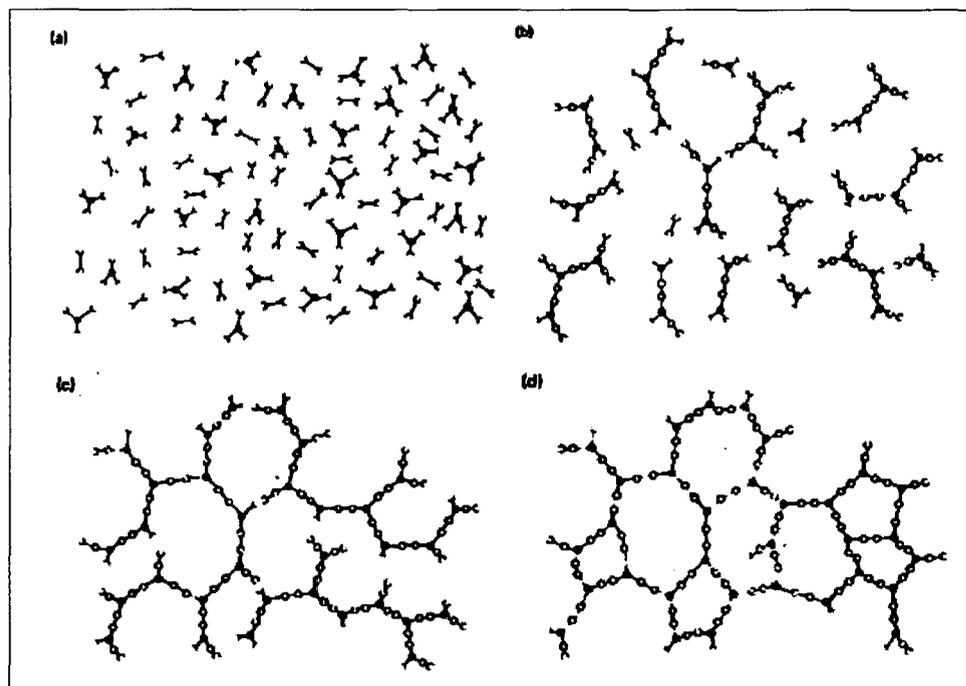
El curado es un proceso complejo que tiene lugar en varias etapas, como muestra la Figura 2.5 En primer lugar, al someter al pre

polímero formulado (etapa A) a la acción del calor, sus cadenas lineales empiezan a crecer y a ramificarse simultáneamente, alcanzando el material la etapa B, es decir, el momento previo al punto de gel o de gelificación.

Conforme la reacción prosigue, el peso molecular se incrementa rápidamente al continuar la condensación de cadenas entre sí.

Finalmente, se produce el entrecruzamiento completo (etapa C y D) del polímero termoestable.

**FIGURA 2.5**  
**REPRESENTACION DE LAS ETAPAS DEL CURADO**



**Fuente: Alonso Rubio, curado de resinas 2002**

### 2.2.11. Reacción de entrecruzamiento de novolaca con HMTA

La resina *novolaca* es un prepolímero termoplástico que requiere un agente para su curado térmico. De esta forma, se obtiene el polímero termoestable. Los agentes de curado habitualmente más empleados son la hexametilentetramina (HMTA) y el paraformaldehído.

Otros tipos de resinas novolacas menos comunes emplean, además de HMTA, resoles sólidas, bismetilo de cresol, bisoxazolina y bisbenzoxacina.

El curado de la novolaca en polvo mezclada con HMTA experimenta una primera etapa de fusión durante su calentamiento. A continuación, el pre polímero adquiere un aspecto elástico y según se incrementa su módulo, aumenta su rigidez y su densidad de entrecruzamiento.

El curado de la resina implica la descomposición térmica del HMTA en amoníaco que se libera y formaldehído que reacciona con la novolaca, contribuyendo a potenciar su entrecruzamiento. Otros compuestos intermedios que se han identificado en la reacción del HMTA con el fenol, ya sea tal cual o con dos moléculas del mismo unidas por un enlace metilénico, son bencilaminas, benzoxacinas y azometinos (Sojka y col., 1981).

#### **2.2.12. Análisis Factorial**

El análisis factorial es una técnica de reducción de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de variables.

El Análisis Factorial es una técnica de reducción de la dimensionalidad de los datos. Su propósito último consiste en buscar el número mínimo de dimensiones capaces de explicar el máximo de información contenida en los datos.

Se encarga de analizar la varianza común a todas las variables. Partiendo de una matriz de correlaciones, trata de simplificar la información que ofrece.

##### **❖ Método de Tukey**

El método de Tukey arroja un intervalo de confianza por cada par de medidas y por cada intervalo que no incluya cero, se llega a la

conclusión de que hay una diferencia significativa entre los valores de ese par de medidas.

Sirve para probar todas las diferencias entre medias de tratamientos de una experiencia. Este método emplea una tasa de error grupal.

#### ❖ **Método de Fisher**

Se utiliza para generar tablas de información de agrupación e intervalos de confianza para las diferencias entre las medias, este método emplea una tasa de error individual.

Las tablas de información de agrupación se basan en los intervalos de confianza y resumen las comparaciones significativas y no significativas para cada método de comparación múltiple. Esta tabla contiene columnas de letras que agrupan los niveles de factor. Los niveles que comparten una letra no son significativamente diferentes. Por el contrario, si no comparten una letra, las medias son significativamente diferentes.

Los intervalos de confianza muestran las diferencias entre las medias, lo cual permite evaluar la significancia práctica de las diferencias

### **2.3. Términos Básicos**

**Resina Fenólica.-** Son productos termoendurecibles, es decir caracterizados por el hecho de endurecerse al elevar su temperatura o bien al someterse a la acción de ciertas sustancias químicas, de algunas radiaciones, etc. Ese endurecimiento proviene de la formación de enlaces cruzados entre las moléculas y conduce a la formación de una masa dura de peso molecular superior al inicial.

**Novolaca.-** Es un conjunto de resinas termoplásticas de cadena lineal, formada por la fusión de fenoles con formaldehído. Además son solubles en alcohol.

**Hexametilentetramina (HMTA).**- Es un endurecedor que se adiciona al entrecruzamiento de la novolaca.

**Curado de la resina.**- El curado de las resinas consiste en el aumento del tamaño de sus moléculas a través de procesos de alargamiento, ramificación y entrecruzamiento de las cadenas hidrocarbonadas para formar una red tridimensional de elevado peso molecular.

**Novolaca entrecruzada.**- Las resinas novolacas se emplean añadiendo un agente de curado (normalmente HMTA), que permite obtener un polímero termoestable.

**Material de fricción.**- Son piezas metálicas, semimetálicas, orgánicas, inorgánicas o una combinación de ellas, las cuales representan una parte fundamental en el mecanismo de una máquina, estas convierten la energía cinética en energía térmica por fricción, las cuales están sujetas a altas temperaturas, ambientes corrosivos, esfuerzos cortantes y desgastes excesivos.

**Polímero.**- Son macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

**Fuerza de Cizallamiento.**- Es la fuerza interna que desarrolla un cuerpo como respuesta a una fuerza cortante y que es tangencial a la superficie sobre la que actúa. También llamada esfuerzo cortante.

**Caolín.**- Es una arcilla blanca muy pura que se utiliza para la fabricación de porcelanas y de aprestos para almidonar. El caolín es un suelo natural en el que abunda la caolinita, que le aporta a menudo un color blanco.

**Resoles.**- Las resinas de fenol-formaldehído base-catalizadas se hacen con una proporción de formaldehído a fenol de más de uno (generalmente alrededor de 1,5). Estas resinas se llaman resoles.

### III. VARIABLE E HIPOTESIS.

#### 3.1. Variables de la investigación.

##### ❖ Variables cuantitativas

- a) Relación de dilución de resina en alcohol
- b) Resistencia del material de fricción al corte por cizallamiento (MPa)
- c) Impregnación de la resina fenólica en la tela cardada de fibra de vidrio (%)

#### 3.2. Operacionalización de Variables

**CUADRO 3.1**  
**OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES**

DEPENDIENTES	TIPO	INDICADOR	ESCALA
Resistencia del material de fricción al corte por cizallamiento	Cuantitativo	Esfuerzo cortante del material de fricción	110 – 138 MPa
INDEPENDIENTES	TIPO	INDICADOR	ESCALA
Impregnación de la resina fenólica en la tela cardada de fibra de vidrio	Cuantitativo	Tiempo de impregnación Extracción Acetonico Variación en peso	0 – 60 min. 50 – 60 % en peso
Relación de dilución de la resina en alcohol	Cuantitativo	Concentración resina fenólica/alcohol	20/80 a 50/50

**Fuente: Propia**

Se determinó las características físicas y químicas de la resina fenol formaldehído por ser el componente principal del material de fricción, dicha resina se diluyó en alcohol etílico a distintas proporciones, obteniendo así distintas concentraciones para luego ser impregnada la tela cardada de fibra de vidrio y sometida a distintas temperaturas de secado, logrando una curva de secado óptimo.

### **3.3. Hipótesis**

#### **3.3.1. Hipótesis General**

La obtención de un material de fricción de alta resistencia al corte por cizallamiento dependerá de las características de la resina y de las condiciones óptimas del proceso, para lo cual el esfuerzo cortante en un área de  $2,19 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  se encontrara entre 110 – 138 MPa.

#### **3.3.2. Hipótesis específica**

- a) Para elaborar un producto de alta resistencia al corte por cizallamiento se deberá tener en cuenta las características físico químicas de la resina fenol formaldehido: contenido de hexametilentetramina, corrido de resina, tiempo de formación del ligante y su punto de fusión.
  
- b) Las condiciones óptimas para la obtención de un producto de alta resistencia al corte son: concentración de resina-alcohol 50/50, tipo de secado = aire caliente, solidos solubles en la mezcla (50 – 60 %), tiempo de Impregnación = 50 min.

## IV.

## METODOLOGIA

### 4.1. Tipo de investigación

#### ❖ **Por su finalidad**

La investigación es del tipo **aplicada** ya que los resultados servirán para ser aplicadas en la industria.

#### ❖ **Por su diseño interpretativo**

La investigación es de tipo **experimental** ya que los estudios fueron realizados mediante la observación, registro y análisis de las variables que intervinieron.

#### ❖ **Por el énfasis en la naturaleza de los datos manejados**

La investigación es de tipo **cuantitativo y cualitativo**.

### 4.2. Diseño de la Investigación

El presente estudio es una propuesta de investigación tipo experimental porque permitió introducir y manipular el factor causal para determinar su efecto.

Consistió en tener diferentes concentraciones de una mezcla resina fenólica/alcohol etílico y se llevó el proceso de impregnación de una tela cardada de fibra de vidrio.

Luego se optimizó los parámetros del proceso como temperatura de secado, impregnación de la tela cardada, para luego obtener la resistencia al corte del material de fricción.

## ❖ Etapas de la investigación

**Primera etapa de la investigación:** Esta etapa consistió en identificar las características físicas y químicas de la resina fenol formaldehído, así como la formulación de la resina que sirva para su propósito, se midió la longitud de curado máximo y la temperatura de curado, el pH de la resina, el contenido de hexametilentetramina, se determinó el fenol libre en la resina, el punto de fusión y el tiempo máximo de formación de hilos cuando la resina haya curado "SET TIME DE LA RESINA FENOLICA".

**Segunda parte de la investigación:** En esta etapa se determinó los factores condicionantes de la resina fenólica disuelta en alcohol etílico, la relación óptima de resina/alcohol, la viscosidad, densidad y el porcentaje de sólidos de la mezcla.

En esta etapa se llevó a cabo la impregnación de la tela cardada de fibra de vidrio en la mezcla resina/alcohol y se determinó el porcentaje de impregnación por ensayos de extracto Acetónico y porcentaje de volátiles.

También se determinó los factores óptimos de secado del material de fricción.

**Tercera etapa de la investigación:** En esta etapa se determinó la resistencia del material de fricción al corte por cizallamiento mediante ensayos de corte, además de su dureza, cantidad de resina y volátiles presentes en el material de fricción terminado.

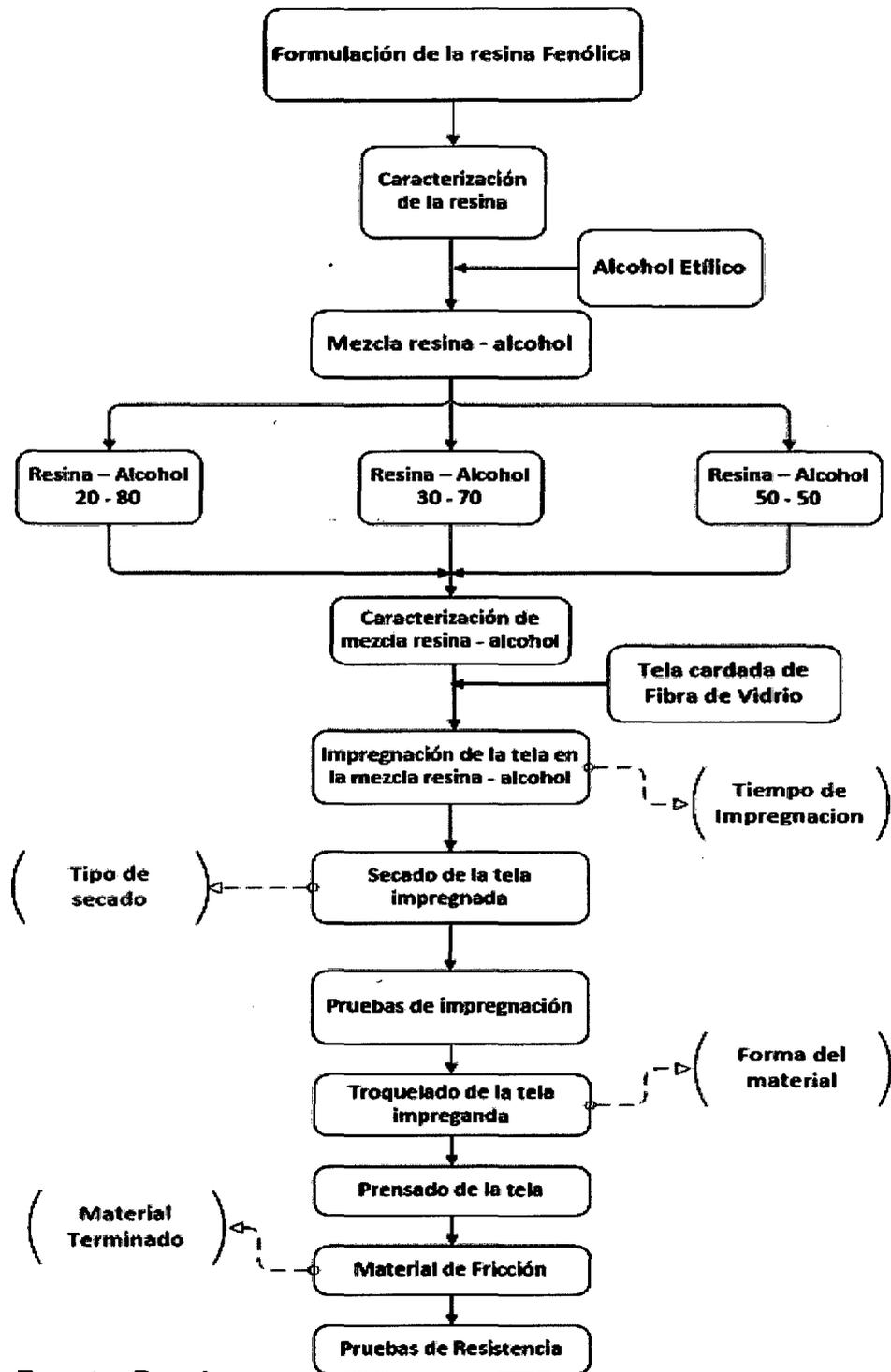
### 4.3. Población, muestra y ubicación

La población consistió en 40 kg de resina fenólica elaborada en la empresa FRENO S.A. y 50 metros de tela cardada de fibra de vidrio

La muestra consistió en 20 kg de la resina y 20 metros de la tela cardada de fibra de vidrio.

La elaboración del material de fricción se realizó en la empresa FRENO S.A. en el departamento de laboratorio y de investigación y desarrollo.

**FIGURA 4.1**  
**REPRESENTACION DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**



Fuente: Propia

#### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección de datos se usaron los siguientes instrumentos de para medición directa:

- Para la viscosidad de la mezcla resina-alcohol: Viscosímetro Brookfield modelo RV-DVII
- Para la densidad de la mezcla resina-alcohol: picnómetro cilíndrico “Copa Gardner”
- Para el pH de la resina: pH metro marca TKR\_ATC, modelo PXIII y de rango 0-14 pH.
- Para medir la temperatura de fusión de la resina: Termómetro calibrado ASTM 7C.
- Para medir el tiempo de curado de la resina: Cronometro calibrado.
- Para el curado de la resina: Horno eléctrico con plato móvil para sostener la lámina de vidrio en un determinado ángulo.
- Para medir la dureza del material de fricción terminado: Durómetro Gogan.
- Para medir la resistencia al cizallamiento del material: Maquina de ensayo de corte y cizallamiento.

##### **4.4.1. Plan de recolección y procesamiento de la información**

- a) Tabla de recolección de datos para hallar la relación resina/alcohol óptimo en la mezcla (Tabla 5.10)
- b) Tabla de recolección de datos para la determinación de la longitud optima de la fluidez de la resina. (Tabla 5.67)
- c) Tabla de recolección de datos para el tiempo de curado de la resina fenólica. (Tabla 5.68)

- d) Tabla de recolección de datos para la determinación de la resistencia máxima del material de fricción al corte por cizallamiento. (Tabla 5.73 – 5.81)
- e) Tabla de recolección de datos para hallar la temperatura de secado de la tela impregnada. (Tabla 5.82)
- f) Tabla de recolección de datos para la adición del hexametilentetramina adecuado para el uso de la resina fenólica. (Tabla 10.1)

#### **4.4.2. Materiales**

- Espátula de 4 pulgadas de largo y 3/4 pulgadas de ancho en acero inoxidable.
- Pipeta volumétrica de 50 ml.
- Erlenmeyers de 250 ml
- Bureta de 50 ml de capacidad.
- Perlas de vidrio.
- Fiola de 100 ml de capacidad.
- Vaso de precipitados de 250 ml de capacidad.
- Tubo capilar de 1,5 a 2,0 mm de diámetro interno y no menor a 50mm de largo.

#### **4.4.3. Reactivos y Soluciones**

- Solución de Ácido sulfúrico 0,1 N – Marca Merck – Q.P.
- Ácido Clorhídrico concentrado Q.P.
- Solución de Hidróxido de Sodio 0,1 N
- Indicador rojo de metilo
- Glicerina al 98% de pureza.
- Acetona
- Solución de Bromuro Bromato
- Solución de Tiosulfato de Sodio 0,1 N
- Ioduro de Potasio
- Solución de almidón.

#### 4.5. Procedimiento de recolección de datos

**Primera etapa:** Se determinó la formulación adecuada de la resina a emplear, esto conforme a las características del producto que se quiere obtener.

Para la caracterización de la resina fenólica, primero se llevó a cabo la recolección adecuada de la resina, para esto seguimos las indicaciones de muestreo de resinas fenólicas sólidas.

Se obtuvo una porción de 40 kg de resina preparada, esta resina contiene caolín, es un disilicato aluminico dihidratado ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) el cual es utilizado en pequeñas proporciones por sus propiedades adsorbentes, sirve como protector para la resina de la humedad, además no afecta las propiedades de la resina por ser un inerte.

La resina también contiene el hexametilentetramina el cual actúa como reticulante, un endurecedor que se agrega al entrecruzamiento de la resina, las formas de hexamina se entrecruzan para formar puentes de metileno y dimetileno amino.

Se determinó el contenido de hexametilentetramina por el método de volumétrico de titulación con soda caustica al 0.1 N y se calculó la longitud de corrido o fluidez de la resina por efectos del calentamiento bajo ciertas condiciones (horno con plato inclinado, temperatura y tiempo). Se calculó el fenol libre en la resina empleando el método de titulación volumétrica con bromuro-bromato.

Luego se determinó el pH de la resina, el corrido o fluidez final de la resina a emplear y el SET TIME el cual es el tiempo que la resina forma hilos al curarse.

**Segunda etapa de la investigación:** Se determinó los factores condicionantes de la resina fenólica disuelta en el alcohol etílico, se realizaron pruebas experimentales para determinar la relación

adecuada de resina/alcohol, para ello determinaremos la densidad, viscosidad y porcentaje de sólidos de la mezcla.

Se llevó a cabo la impregnación de la tela cardada de fibra de vidrio en la mezcla y se determinó su porcentaje de impregnación así como los parámetros de secado (tipo de secado, la rampa de calentamiento y tiempo de secado)

**Tercera etapa de la investigación:** Se determinó la resistencia del material de fricción al corte por cizallamiento, mediante ensayos de corte, se determinó la dureza en un durómetro Gogan, además del porcentaje de extracto Acetonico del material de fricción elaborado.

#### **4.5.1. Formulación de la resina fenólica.**

La elaboración de la resina fenólica (fenol formaldehído) consistió en el control de un proceso que implica una sucesión ordenada de reacciones químicas que transcurren en las variables Temperatura Vs. Tiempo, que tuvo por objetivo obtener un producto final, la resina, de características previamente establecidas según parámetros operativos y que debe funcionar para un fin determinado y específico.

La resina fenol-formaldehído fue realizada en un medio ácido adecuado, el ácido utilizado fue el oxálico por ser un ácido orgánico, fuerte, sólido y acuoso soluble.

La función del catalizador ácido fue de regular el pH de reacción. La polimerización se lleva a cabo en condiciones especiales de temperatura y pH para lograr características y comportamientos determinados.

Esta resina es termoreactiva, para reaccionar al calor necesitan la presencia de un agente que funcione como reticulante. El hexametilentetramina, fue el reticulante empleado, éste aporta por descomposición amoníaco que brinda el pH alcalino adecuado de reacción de curado y formol libre que aporta los enlaces metilénicos, para que reaccionen con las cadenas del policondensado ya formado previamente a una temperatura adecuada.

Para que se forme la resina, es necesario que haya un exceso de fenol presente durante toda la reacción, este exceso garantiza encadenamientos alternados en la cadena del polímero. Todas las relaciones se hacen en EQUIVALENTE QUIMICOS. Una resina fenólica industrialmente emplea relaciones Fenol/Formol de 1/0,80 a 1/0,84; conforme disminuye el exceso de Fenol aumenta la reactividad de la resina por lo cual paralelamente también hay que modificar la cantidad de catalizador, a mayor reactividad menor catalizador.

Este comportamiento se explica porque a una baja relación molar 1/0,80, está reaccionando menor cantidad de equivalentes de formol, o lo que es lo mismo, de "grupos metilenos activos", de allí que la reacción sea menos activa; simultáneamente existe mayor exceso de fenol que asegura mejor la "alternancia" en la molécula del condensado. En una relación alta (1/0,84) existe en consecuencia mayor cantidad de formol (metilenos reactivos) por lo cual la reactividad es más alta, como hay mayor cantidad de metilenos también es más probable que haya reacciones inter-metilénicas; como el exceso de fenol es menor, la alternancia en el condensado no es tan segura como en las relaciones bajas.

Por todo lo mencionado se puede deducir que la estequiometría de la reacción juega un papel determinante en todo el proceso, es por esta razón que el control del peso de los insumos (exactitud de pesada) y de la calidad de ellas (pureza o concentración según sea el caso) fueron fundamentales para lograr que la resina final tenga las características programadas en la formulación.

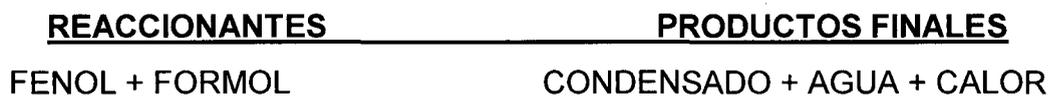
La elaboración de la resina fenólica consta de dos fases muy marcadas: una primera en la cual se logra que todo el formaldehído reaccione y una final en la cual se destila toda el agua presente en el reactor y se cuadran las características físicas del producto final mediante polimerización, las características químicas ya están dadas por la estequiometría.

La condensación fenol-formol corresponde a la fórmula general:



Este tipo de reacción alcanza un equilibrio en su complejión final que depende, aparte de la naturaleza de los reactantes, del medio en el cual se lleva a cabo la reacción.

En el caso específico del fenol/formol, la reacción es fuertemente exotérmica, por lo cual la reacción toma la estructura general:



Para lograr mayor porcentaje de conversión química es necesario que uno de los productos finales disminuya en concentración (lo que equivale a extraerlo), esta operación es conocida como sifoneo y promueve mayores porcentajes de conversión del producto importante en la complejión final. En el caso de la reacción fenol/formol, el agua no puede extraerse porque haría el arrastre del formol que es un reactivo gaseoso, lo único que queda es tratar de quitar todo el calor de la reacción exotérmica. Esto se consiguió haciendo que el calor permita la ebullición y mediante condensación de los vapores extraer parte del calor de la exotermia, la otra parte se gasta en mantener la mezcla final a temperatura de ebullición, sin fuente de calor externa.

La resina fenólica, tiene como características de control su "punto de fusión" (o mejor dicho su rango) que determina su grado de polimerización (obtención de pesos moleculares altos); el "tiempo de curado" que determina su reactividad química.

### **A. Elaboración de la resina fenólica**

Debido a que la resina requiere proporciones estequiométricas o mezclas muy exactas, es necesario que la "pesada", primer paso en la

elaboración, sea lo más precisa posible, con el fin de evitar serias complicaciones en los siguientes pasos de elaboración, los cuales debido a los tipos de reacciones que se desarrollan son eminentemente irreversibles.

❖ **INGREDIENTES:**

a) **AGUA:** El agua en elaboración de la resinas fenólica, es un insumo que se emplea simplemente como material de dilución o de transporte. No interviene para nada en la estequiometría de la reacción.

b) **FENOL:** Es un compuesto cristalino, blanco con olor aromático fácilmente reconocible. Tiene un punto de cristalización de aproximadamente 41°C, motivo por el cual en nuestra temperatura ambiente se le encontrará en estado sólido. También se le conoce como ácido carbólico.

El fenol lo encontramos en estado sólido, para su uso es necesario fundirlo mediante la aplicación de calor. Para ello se calentó a 60°C, ya que el volumen aumenta considerablemente con el calor y es posible derramamiento de fenol a mayores temperaturas.

c) **FORMOL:** El formaldehído en sí, es un gas, pero se le usa bajo la forma de solución acuosa al 37% estabilizado con 5-7% de metanol.

Se empleó "paraformaldehído" en estado sólido para obtener la solución adecuada. Aquí debe tenerse presente que las cantidades a usar dependerán de la concentración del paraformaldehído empleado y de la cantidad de insolubles que contenga, de allí que necesariamente la concentración final tenga que chequearse antes de la carga para proceder a la estabilización y corrección de la cantidad de fenol a usar.

d) **PARAFORMALDEHIDO:** Este producto es conocido a nivel industrial como simplemente "PARA". Se trata en realidad de una presentación del mismo formaldehído en forma polimérica, que da la facilidad de la forma sólida, eliminando así el agua. Para poder usarlo es necesario

llevarlo nuevamente al estado de solución acuosa, mediante una disolución con agitación energética, temperatura y pH controlados.

- e) **ACIDO OXALICO:** Es un ácido orgánico que se encuentra en estado sólido, el cual da el medio ácido que se necesita.

## B. REACTOR

Para la formulación de la resina fenólica se debe tener en cuenta que ésta se relaciona de acuerdo a patrones industriales de operación con una ocupancia máxima de 80% de la capacidad nominal del reactor (carga máxima que tiene en cuenta la dilatación térmica de la masa reactante). Se dispone de un reactor para pruebas cuya capacidad nominal es de 15 litros, la carga máxima inicial será de 12 litros, que para efectos de simplificación se tomará como 12 kilos.

**CUADRO 4.1**  
**DIMENSIONES DEL REACTOR DE PRUEBAS**

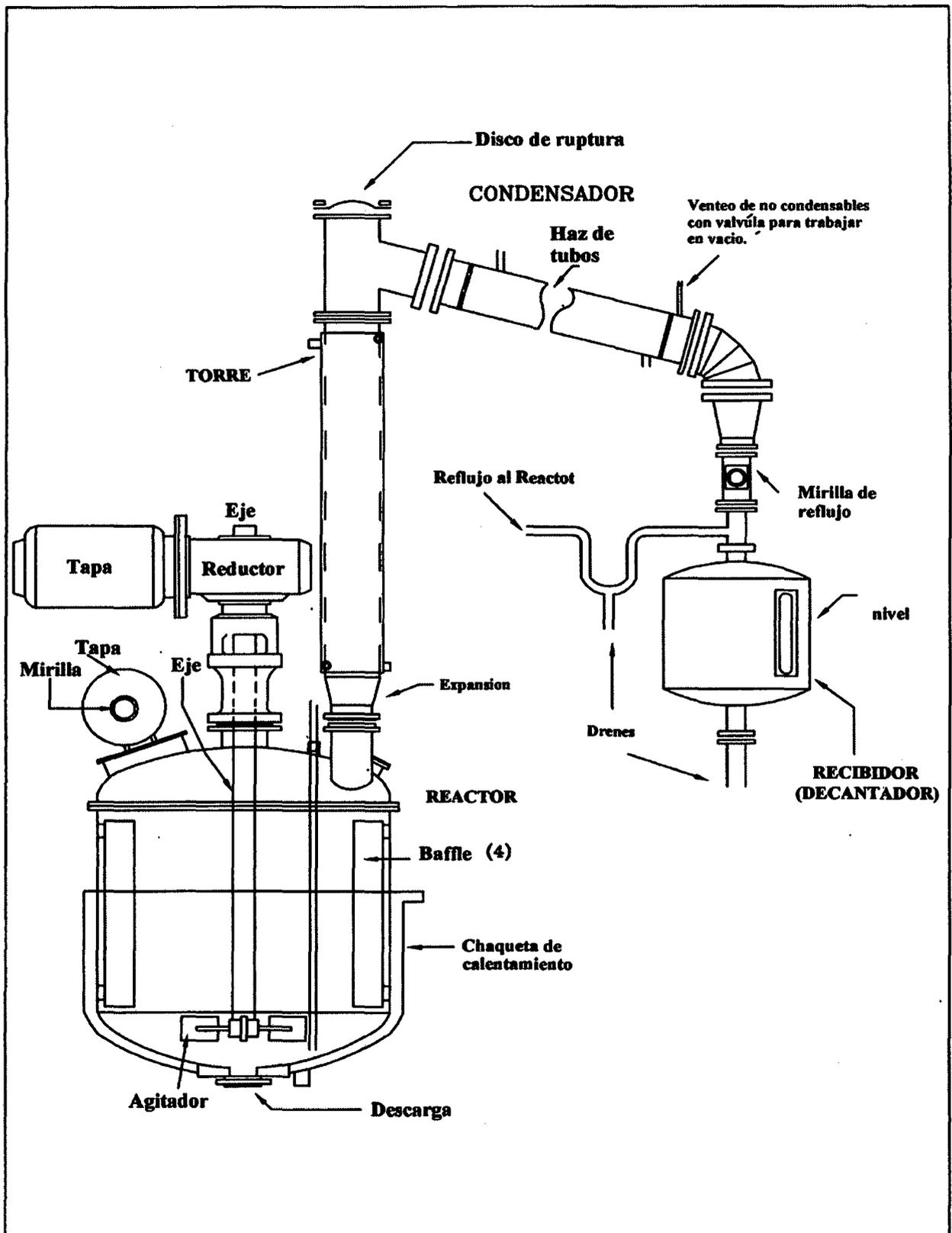
CAPACIDAD DEL REACTOR:	
Diámetro del cuerpo	0.4 metros
Altura del cuerpo	0.35 metros
Área de corte	0,126 m <sup>2</sup> .
Volumen del cuerpo	0.044 m <sup>3</sup>
Diámetro casquete	0.4 metros
Altura casquete	0.12 metros
Flecha del casquete	0.5 metros
Volumen del casquete	0.126 m <sup>3</sup>
<b>VOLUMEN TOTAL DEL REACTOR</b>	<b>15 litros.</b>

**CARGA MÁXIMA; 15 X 0.8 = 12 litros.**

ÁREA DE CALENTAMIENTO		
Diámetro de chaqueta		0.4 metros
Altura de chaqueta		0.1 metros
Área de la chaqueta		0.251m <sup>2</sup>
ÁREA DE ENFRIAMIENTO MÍNIMA		
<b>0.251 x 3.5 = 0.878 m<sup>2</sup></b>		
Columna de gases	Diámetro	0.08 metros
	Altura de columna de gases	1.0 metros
	Área de la columna de gases	0.5 m <sup>2</sup>

**Fuente: Área Ingeniería – Empresa Freno SA**

FIGURA 4.2.  
REACTOR DE POLIMERIZACION



Fuente: Área de Ingeniería – Empresa Freno SA

La relación estequiometría a utilizar es de 1 a 0.830 (Fenol/Formol). Se determinó el PUNTO BASE, se tomó una solución de formaldehído con 37% de concentración y un pH de estabilización de 8.0 - 8.5 y con inhibición por metanol al 1.2% sobre el total de formaldehído diluido, se utilizó paraformaldehído al 91% disuelto adecuadamente. Se estimó que el Fenol utilizado tuvo una pureza de 99.6%.

Como reguladores de pH se utilizó soda cáustica al 50%, ácido sulfúrico diluido; la sal obtenida como reacción de ellos no interfiere con la reacción Formol/Fenol ni con el uso final de la resina. Por otro lado, los iones de ácidos inorgánicos son corrosivos para el acero inoxidable, motivo por el cual se empleó en las menores cantidades posibles, es mejor si se emplean ácidos orgánicos que son menos corrosivos para este material.

**CUADRO 4.2.**  
**FORMULA DE LA RESINA FENOLICA**

RELACIÓN: 1/0.830

<u>INSUMOS</u>	<u>KILOS</u>	<u>REACTIVO PURO</u>	<u>EQUIVALENTE QUÍMICO</u>	<u>NOTAS</u>
Formol (37%)	4.93	1.824	1.824/30.03=0.0605 eq (0.830)	1
Metanol	0.06			2
Fenol (99.6%)	6.89	6.862	6.862/94.11=0.0729 eq (1)	
Ac. Oxálico	0.045			(0.652%)
Soda cáustica	0.03			(4.8 + 1.2)
Ac. Sulfúrico	0.009			
<u>Agua</u>	<u>0.025</u>			

*Fuente: Propia.*

<b>TOTAL:</b>	<b>12.00</b>	<b>8.686</b>	
<b>Merma</b>	<b>4.392</b>	<b>1.089</b>	<b>(3)</b>
<b>Producción</b>	<b>7.608</b>	<b>7.597</b>	
<b>% Merma</b>	<b>36.6%</b>	<b>12.5%</b>	

## NOTAS:

1. La cantidad de formaldehído diluido en esta fórmula obedece al uso normalmente requerido el cual comprende de 4,93 Kilos
2. El metanol aquí figura en forma separada del formaldehído, en la práctica va incorporado a él, descontándose el agua necesaria para llegar a una concentración de 37%.
3. La merma que se indica es agua que tiene que eliminarse para llegar a una resina sólida:

$$\begin{array}{r} 4,93 \text{ kilos} - 1,824 \text{ de reactivo} = + 3.106 \text{ kilos} \\ \text{Menos } 0.05 \text{ kilos de metanol} = - 0.06 \text{ kilos} \\ \text{Más el agua de reacción} = +1.089 \text{ kilos (*)} \\ \hline \text{Más otras aguas} = + 0,258 \text{ kilos} \\ \hline 4.392 \text{ kilos} \end{array}$$

(\*) El agua de reacción se produce a razón de un equivalente de agua por cada equivalente químico de formaldehído:  $0,0605 \times 18 = 1.089$  kilos

4. Como catalizador se usará el ACIDO OXALICO 90% por ser de mediana reactividad, no corrosivo al acero inoxidable y de fácil manejo, se le empleará al 0.650% sobre el Fenol.
5. Equivalente formaldehído = 30.03  
Equivalente fenol = 94.11

## C. PROCESO GENERAL

La elaboración de la resina fenólica siguió un proceso determinado por las características del reactor empleado. Este PROCESO no es sino una secuencia lógica, ordenada y obligatoria de reacciones químicas conducidas y controladas entre ciertos parámetros, de manera que el resultado final sea un compuesto químico de característica químicas y físicas constantes dentro de rangos pre-establecidos.

**CUADRO 4.3**  
**VALORES PROPUESTOS PARA LA RESINA ELABORADA**

<b>Punto de fusión</b>	79 - 88°C. (Capilar) (Como resina pura)
<b>Punto de fusión</b>	89 - 97°C. (Capilar) (Como compuesto)
<b>Flujo</b>	65 - 100 mm. (Como resina pura)
<b>Flujo</b>	30 - 60 mm. (Como compuesto)
<b>Set Point</b>	35 - 65 segundos. (150°C.) (Como compuesto)
<b>Hexametilentetramina</b>	6 - 8 %

**Fuente: Propia**

Como las reacciones químicas son exotérmicas e irreversibles, es indispensable que el proceso esté BAJO CONTROL en todo momento, es decir, que debe haber pleno conocimiento y dominio de los fenómenos existentes y del equipo empleado, como requisito necesario e indispensable para lograr el éxito.

El proceso puede resumirse en los siguientes pasos:

**1.-PESADA:** Es la primera operación y como tal es muy importante debido a que las relaciones en peso de cada insumo es fija, aquí se determinan los pesos exactos de cada uno de los insumos, de acuerdo a una formulación dada.

**2.-CARGA:** Comprende la colocación física de los insumos necesarios dentro del reactor en el orden y condiciones establecidos y en pesos exactos.

**3.-CALENTAMIENTO:** Se refiere al calentamiento inicial necesario para que los insumos puedan reaccionar en los procesos, primero de adición y luego de condensación y generar su propia exotermia. Por lo regular este calentamiento está entre 40°C y 50°C.

**4.-REACCION-REFLUJO:** En este paso ocurren las reacciones exotérmicas básicas de condensación entre el Fenol y el Formol en presencia del ácido oxálico que actúa como catalizador. El tiempo de este paso está regido por las limitaciones de adición constante del formol al reactor y por las características de enfriamiento de este equipo.

Comprende un período de adición y otro de reflujo de agua directo al reactor, que tiene como finalidad extraer el calor de la exotermia y permitir que todo el formol reaccione; el punto final de este paso lo da el porcentaje de formaldehído libre, que siempre debe ser menor de 0.5%.

Durante el período de reflujo se busca una homogenización de la estructura química de los condensados básicos recién formados. En esta parte del proceso es importante recordar que el pH al cual se lleva a cabo la reacción de condensación es sumamente importante, que además de las consecuencias de velocidad y eficiencia ya enunciadas, tiene otro problema adicional, la condensación a pH extremadamente ácidos propende a la formación de enlaces metilen-metilen. Cada enlace inter metilénico que se forme, quita teóricamente la oportunidad de acoplamiento a la cadena de una molécula de fenol, esta es otra causa del alto porcentaje de fenol libre en la resina final.

**5.-DESTILACION:** Este paso, previos ajustes del pH, tiene por finalidad la extracción total y rápida del agua presente dentro del reactor como único medio de lograr temperaturas adecuadas de polimerización y fijar las características físicas de la resina.

En este paso también es importante el pH al cual ocurre la destilación, pero también lo es la velocidad de extracción del agua. Debe recordarse que es necesario la extracción del agua para asegurar que la reacción de condensación se sifonee a la derecha (de la ecuación química) y no haya regresión en la compleción final de la reacción. El agua presente en este momento es pues innecesaria e inconveniente. En esta etapa es muy importante llegar a temperaturas de polimerización, generalmente altas lo más rápido que se pueda de acuerdo al equipo.

Por lo general en la parte final de la destilación suele emplearse vacío para ayudar a la extracción del agua, esta etapa de vacío es una ayuda pero no un paso obligado, la cantidad de vacío aplicado depende mucho de las características del reactor y de la formación de espuma.

**6.-DESCARGA:** Consiste en la evacuación de la resina fundida y ya en características estándares, dentro del reactor. Su aparente simpleza hace que algunas veces no se le preste el debido cuidado.

Una vez obtenidas las características físicas apropiadas según los patrones de control, no hay ninguna razón lógica para seguir manteniendo la resina fundida y con características estándares en el interior del reactor, ya que su permanencia en él, puede llegar a desviarlas ya que seguirá polimerizando mientras haya temperatura alta, lo cual se agrava por ser estas resinas muy malas conductoras del calor. Por eso es recomendable una descarga rápida para obtener también así un enfriamiento rápido que corte definitivamente la polimerización.

El control de la RESINA se refiere al producto puro e incluye sus características intrínsecas, es decir:

- 1° Su punto de fusión (que medirá el grado de polimerización)
- 2° Su punto de curado (que medirá su reactividad) y
- 3° Su porcentaje de fenol libre (que medirá indirectamente su eficiencia química y su proceso).

Una vez molida la mezcla de resinas, se homogenizo el producto molido con su correspondiente dosificación de hexamina en un mezclador.

## **D. DESCRIPCION DEL PROCESO**

### **a) PREPARACION DEL FORMOL**

Esta es una operación que fue realizada antes del proceso de fabricación de la resina. Se llevó acabo en un recipiente cuya capacidad fue de 10 litros.

- Se carga el recipiente con agua potable. Se agita y se agrega soda caustica, luego se adiciona el paraformaldehído. Se inicia el calentamiento hasta llegar a la temperatura adecuada, para no tener

pérdidas gaseosas, luego se adiciona el estabilizador metanol, unos minutos después se mide el pH de la solución preparada.

- Minutos antes de iniciar la reacción fenol – formol en el reactor; a la solución preparada de formol, se neutraliza y se acidifica en plena agitación con una solución de ácido sulfúrico y se verifica el pH.

#### **b) FUSION Y CARGA DEL FENOL**

- Se pesa el fenol requerido para la resina y se coloca con cuidado en un recipiente el cual es calentado por baño maría y por incremento de la temperatura se funde el fenol, posteriormente es cargado el fenol fundido al reactor de polimerización.

#### **c) REACCION**

- Se realizó en el reactor de polimerización el cual consta de un motor agitador, una torre de evacuación de gases, condensador y un sistema de calentamiento y enfriamiento.
- Se incorporó al reactor el fenol fundido y el catalizador que es una solución de ácido oxálico en agua.
- La reacción comenzó cuando se adiciona sobre el fenol fundido dentro del reactor y en forma controlada el formol preparado anteriormente, esto produjo una exotérmica el cual fue controlada con enfriamiento externo por aplicación de agua.
- Luego de estabilizar las reacciones, se inicia la toma de muestras del agua del reflujo para controlar el porcentaje de formol libre y el pH

#### **d) MOLIENDA**

- La resina es fragmentada y alimentada a un molino de varillas, donde también se agrega el reticulante (HMTA), para luego pasar a un molino de pines donde la resina es pulverizada.

#### **4.5.2. MUESTREO Y CUARTEO DE LA RESINA FENOL FORMALDEHIDO**

Para la caracterización de la resina fenólica, primero se debe llevar a cabo la recolección adecuada de la resina, para esto seguiremos las indicaciones de muestreo de resinas fenólicas sólidas.

- El muestreo se realiza en cinco porciones: una central y cuatro correspondientes a las esquinas de un recipiente ("TINA") cuyas dimensiones son de 2x1.5x0.15 metros.
- Las muestras de las esquinas se toma en base a las dimensiones de la tina, por lo general se usa que las muestras correspondan a una zona que este situada a un cuarto (1/4) de la dimensión más corta (ancho) y a un quinto (1/5) de la dimensión mayor (largo).
- Las muestras obtenidas son molidas en un molino primario para obtener una sola masa de resina molida hasta partícula de 3 a 5 mm.
- La masa molida se mezcla y se extiende lo más uniformemente posible sobre una superficie plana y luego se toma 5 muestras de cuarteo como si se tratara de una tina única (5 alícuotas), la cual nos va servir para los siguientes análisis.

#### **4.5.3. CARACTERIZACION DE LA RESINA FENOL FORMALDEHIDO**

##### **A. DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE LA RESINA**

Para determinar el flujo de la resina fenólica se empleó un horno eléctrico con un plato móvil para sostener una lámina de vidrio y que pueda inclinarse en un ángulo determinado. La longitud de corrido de la resina determinó la correcta proporción del reticulante (HMTA) añadido.

El procedimiento para calcular la longitud o flujo de corrido es el siguiente:

- Pesar 0,50 gramos de resina y preparar una pastilla de 12 mm de diámetro y 6 mm de altura.
- Ajustar el horno para mantener una temperatura de 125 °C.

- Colocar la pastilla en la parte superior de la lámina de vidrio, introducirla y colocar sobre el plato del horno, en posición horizontal.
- Poner a funcionar el cronometro inmediatamente.
- Bajar el plato interior del horno a un ángulo de 63° con la horizontal, exactamente a los 3 minutos
- Continuar el procedimiento por 20 minutos más.
- Volver el plato a la posición horizontal y retirar inmediatamente la lámina de vidrio del horno y enfriar.
- Medir en milímetros la distancia desde la parte superior de la posición original de la pastilla hasta el punto de flujo externo.

## **B. DETERMINACIÓN DEL SET TIME DE LA RESINA - CURADO**

Para determinar el tiempo de curado de la resina fenólica se empleó una plancha con resistencia eléctrica graduable. Esta prueba determinó la reactividad de la resina.

El procedimiento para calcular tiempo de curado de la resina es el siguiente:

- Ajustar la temperatura del plato de calentamiento a 150 °C
- Pesar 1,0 gramos de resina fenólica.
- Coloque la resina en el plato caliente.
- Tan pronto como la resina termine de fundirse, ponga a funcionar el cronometro.
- Inmediatamente presione y empiece a frotar la resina con la espátula, contra el plato caliente, formando así una película delgada (levante un poco la espátula cada cierto tiempo para observar la formación de hilo)
- Cuando la resina no forme hilos al levantar la espátula, detenga el cronometro.
- Anotar el tiempo transcurrido en segundos.

### C. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HEXAMETILENTETRAMINA

Para determinar el contenido de (HMTA) presente en la resina se utilizó el método volumétrico con soda caustica al 0,1N. Esta prueba determinó si la resina está completamente homogenizado con el reticulante adicionado.

El procedimiento para calcular el contenido de HMTA en la resina es el siguiente:

- Pesar 1,0 gramos de resina en polvo, en un Erlenmeyer de 250 ml.
- Añada sobre la resina 40 ml de solución de ácido sulfúrico 0,1 N y perlas de vidrio para evitar que la ebullición sea brusca.
- Colocar sobre la plancha caliente hasta ebullición, hasta no percibir olor a formol, mantener el nivel en el frasco añadiendo agua destilada.
- Retirar el Erlenmeyer y añadir 20 ml de agua destilada y enfriar.
- Añadir 7 gotas de rojo de metilo a la solución.
- Titular la solución con NaOH 0,1 N hasta viraje de color rojo a amarillo.
- De igual manera proceder con una solución en blanco.

El porcentaje de hexametilentetramina se calcula de la siguiente manera:

$$\%HMTA: \frac{(titulo\ blanco - titulo\ resina) \times 0,1NaOH \times 3,5}{W\ resina}$$

### D. DETERMINACIÓN EL PUNTO DE FUSION DE LA RESINA

Para determinar el punto de fusión de la resina se utilizó el método de capilaridad, midiéndose con un termómetro ASTM 7C la temperatura de fusión. Esta prueba determinó el grado de polimerización de la resina.

El procedimiento para calcular el punto de fusión de la resina es el siguiente:

- Introducir la resina en polvo dentro del tubo capilar, teniendo en cuenta que la resina debe quedar en el fondo del capilar sin espacios vacíos.
- Fijar el capilar al termómetro, de manera que la columna de resina coincida con la bulba del termómetro.
- Introduzca el capilar fijado al termómetro en el interior del tubo de vidrio y cerrar con un tapón de caucho.
- Llenar el Erlenmeyer con glicerina hasta la mitad de la altura del frasco y coloque el tubo de vidrio en él.
- Caliente lentamente la plancha.
- Observe constantemente el capilar, cuando el contenido del capilar se torna transparente, se conoce como el fenómeno de punto de fusión.
- Se apunta la temperatura en este punto.

#### **E. DETERMINACIÓN EL pH DE LA RESINA**

Para determinar el pH de la resina se utilizó el método instrumental, para ello se contó con un pH-metro digital según norma DIN 19260-19263. Éste se calibra mediante tampones de pH 4, 7 y 10.

El procedimiento para calcular el pH de la resina es el siguiente:

- Pesar 5 gr de resina en polvo en un vaso de precipitados.
- Añadir 40 ml de acetona y agite por 5 minutos
- Añadir 40 ml de agua destilada y agite nuevamente.
- Introducir el electrodo evitando que toque la resina aglomerada en el fondo.
- Anotar el pH.

## F. DETERMINACIÓN DEL FENOL LIBRE EN LA RESINA

Para determinar el contenido de fenol libre en la resina fenólica en polvo se emplea el método de titulación volumétrica bromuro-bromato, el procedimiento consiste en:

- Pesar 1,0 gramos de muestra de resina en un vaso precipitado de 250 ml con una precisión de 0,1 mg.
- Adicionar 50 ml de agua destilada y disuelva la muestra con ayuda de una bagueta, lleve a fuego lento, entre 40 a 50°C. con agitación constante durante 10 minutos, hasta extraer la cantidad de fenol existente en la muestra.
- Filtre la muestra en una fiola de 100 ml. Enrasar con agua destilada.
- Pipetee una alícuota de 10 ml de solución en el Erlenmeyer iodometrico con tapa.
- Agregue 50 ml de solución de bromuro – bromato 0,1 N y 10 ml de ácido clorhídrico concentrado. Dejar en reposo la muestra por un periodo de 15 minutos en un lugar oscuro.
- Agregue 2 gramos de ioduro de potasio. La solución se convierte a color marrón.
- Titule con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N con agitación, hasta que la solución se convierta a amarillo brillante.
- Agregue algunas gotas de solución de almidón, hasta que la mezcla resultante se convierta en azul oscuro, titule hasta que ocurra el viraje de color de la solución, a blanco ligeramente amarillento.
- Anotar el gasto de la solución de tiosulfato de sodio 0,1N

### EXPRESION DE LOS RESULTADOS:

El porcentaje de fenol libre, puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\%Fenol = 1,567 \times \frac{50 - ml \text{ tiosulfato } 0,1N}{W}$$

Dónde:

W= Peso de la muestra

#### 4.5.4. CARACTERIZACION DE LA DE LA MEZCLA RESINA – ALCOHOL

##### A. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD – MÉTODO DE LA COPA GARDNER.

Para determinar la densidad de la mezcla resina – alcohol se utilizó el método de la copa Gardner (picnómetro cilíndrico), según Norma Técnica Peruana ITINTEC 319.161.

El procedimiento para calcular la densidad de la mezcla es el siguiente:

- Tarar la copa con la tapa, anotar el peso y tararla.
- Llevar la muestra a 25°C
- Llevar la copa con la muestra evitando formar burbujas, colocar tapando tratando de no atrapar espuma y permitiendo que el exceso de muestra rebose por el agujero central de la tapa.
- Limpiar inmediatamente con un paño o papel absorbente de manera que todo el exterior de la copa quede limpio y seco. Procurar que durante la limpieza no caiga muestra desde la copa, para esto es recomendable tener la copa siempre en posición vertical, tomándola con una mano entre los dedos índice y pulgar tapando el agujero de rebose con cualquiera de los dedos indicados, la limpieza se hace con la otra mano.
- Pesar la copa llena de muestra y anotar el peso respectivo como peso bruto en gramos.

El peso total de la muestra se determina por sustitución:

Peso de la muestra: Peso bruto – Tara

**Los cálculos vienen dados por:**

Densidad (Libras/Galón) = (Peso bruto – Tara)/10

Nota:

Para determinar la densidad en sistema métrico multiplicar el resultado por 0,1198.

El volumen de picnómetro en mililitros está dado por la fórmula:

$$V = \frac{m1 - m}{d}$$

Dónde:

m1: Masa del recipiente lleno con agua, en gramos.

m: Masa del recipiente vacío y seco, en gramos.

d: Densidad absoluta del agua en g/ml

**TABLA 4.1**  
**DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA**

TEMPERATURA °C	DENSIDAD g/ml
15	0,999099
16	0,998943
17	0,998744
18	0,998595
19	0,998405
20	0,998203
21	0,997992
22	0,997770
23	0,997538
24	0,997296
25	0,997044
26	0,996783
27	0,996512
28	0,996232
29	0,995944
30	0,995656

Fuente: N.T.P. ITINTEC 319.161

## **B. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD BROOKFIELD**

La medida de viscosidad se realizó con un viscosímetro digital *Brookfield*, modelo RV-DVII, siguiendo la norma ISO 2555.

Una vez nivelado el equipo, se conecta el motor del rotor a una velocidad de 12 rpm para tener la referencia “cero” o blanco. Posteriormente, se procede de la misma manera pero situando el “spindle” adecuado a la muestra cuya viscosidad se pretende medir,

el torque para el ensayo debe estar entre 20 y 50%. Los análisis se efectuaron a una temperatura de 25 °C y 100 rpm, condiciones habituales de medida de viscosidad.

### **C. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SOLIDOS**

El contenido de solidos se determinó empleando método gravimétrico. El procedimiento para calcular la densidad de la mezcla es el siguiente:

- Se pesa de 1 a 3 gramos de la muestra con exactitud al 0.1 mg (W1) y colóquelo en el papel aluminio previamente pesado (W0).
- Caliente la estufa a 200°C y coloque las muestras en el horno por un periodo de 1 hora.
- Lleve la muestra al desecador, hasta que enfríe y pese nuevamente (W2)

Para determinar el porcentaje de solidos que contiene la mezcla se procede a calcularlo de la siguiente manera:

$$\%SOLIDOS = 100 - \frac{(W2 - W0)}{W1} \times 100$$

### **4.5.5. CONDICIONES OPTIMAS DEL MATERIAL DE FRICCIÓN**

#### **A. PREFORMADO Y PRENSADO DEL MATERIAL DE FRICCIÓN**

La tela impregnada seca es sometida a un preformado, el cual consiste en llevarla a un estado intermedio con la geometría indicada, la geometría que toma el material de fricción es de una corona circular.

Teniendo el material en su forma intermedia, se procede a realizar el prensado, el cual es una operación donde se obtiene la forma final del material de fricción.

Para este caso se aplica el termoprensado, es aplicado para insumos termofijos (como la resina fenólica) que están presentes para dar una característica a la forma final siempre con la ayuda del calor.

La resina fenólica actúa como aglomerante de los demás insumos inertes y como reaccionante ante otros insumos químicamente activos, por esta razón la resina fenólica tiene mucho que ver con las condiciones irreversibles presentes en el proceso.

La resina fenólica tiene un punto de fusión. Este indica la temperatura a la cual el aglomerante se torna líquido, es necesario tener presente que las reacciones químicas orgánicas se dan en el estado líquido. En el termoprensado se tiene presente esta temperatura para el proceso.

La resina tiene un corrido. Esta característica indica el recorrido o movilidad del aglomerante dentro del compuesto en relación del catalizador ya establecida.

La resina tiene un tiempo de curado (set point o cure time). Esta característica determina el tiempo que necesita el compuesto para alcanzar el estado sólido, generalmente a 150°C (423,15°K) El tiempo de curado dependerá de la reactividad química de la resina y de la cantidad de catalizador presente en el compuesto.

La presión, este parámetro es indispensable, su función está relacionada con la compresión de un peso determinado del material con una densidad inicial hasta otra de una densidad final.

La aplicación de la presión es función del área de desarrollo de la pieza final. Por lo general se encuentra una recomendación de presión dependiendo de los materiales a prensar de 113 a 150 kilos por cada centímetro cuadrado de desarrollo.

El área de desarrollo es el área total de la pieza, sus caras más sus bordes.

La temperatura, este parámetro tiene relación inversa con el parámetro tiempo, la temperatura debe estar diseñada para que se logre primero la fusión de la resina y luego inmediatamente el curado. En la primera temperatura cuando la resina se vuelve líquida esta es

esparcida homogéneamente en toda la masa, estas gotas de resina se convierten en puentes solidos de resina entre los corpúsculos vecinos, aquí la resina ya está curada por lo que es insoluble, infusible y rígida.

De acuerdo al tiempo de curado a 150 °C (423,15°K) de la resina, de debe diseñar la relación tiempo-temperatura necesaria para la pieza. Por eta razón la temperatura de base para el sistema de prensado es de 150°C (423,15°K).

El material de fricción a obtener tendrá las características geométricas que indica el cuadro N°4.4

**CUADRO N°4.4**  
**CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS DEL MATERIAL DE FRICCIÓN**

<b>Forma geométrica</b>	<b>Corona Circular</b>
Área superficial Total	585 cm <sup>2</sup>
Radio interno	7 cm
Radio externo	14 cm
Espesor	1.4 cm

**Fuente: Propia**

De acuerdo a ello la presión de prensado será de 20,70 MPa por un tiempo de 8 minutos y a una temperatura de 150°C (423,15°K)

## **B. DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ACETONICO**

Para determinar el porcentaje de resina fenólica que no ha curado en el material de fricción se realiza a través del método de extracción por acetona.

El procedimiento para calcular el porcentaje de extracto acetónico en el producto final es el siguiente:

- Se pesa una muestra de 2 gramos (en forma de virutas o polvo-S) sobre un trozo de papel filtro cualitativo de filtrado rápido.

- Sobrepliegue el papel filtro conteniendo la muestra, cuide que no se derrame la muestra.
- Pese el balón de extracción (P)
- Una vez que el equipo este instalado correctamente, agregue 150 ml de la acetona. Luego se inicia el proceso de extracción haciendo pasar el agua de enfriamiento a través del condensador y aplicando calor, cuyo tiempo de sifoneado deberá estar entre 4 a 6 minutos. Este proceso se debe controlar cuidadosamente durante las 3 horas que dura el ensayo.
- Después de vaciado el separador de vidrio se retira el balón y se va eliminando la cantidad de acetona, hasta que el balón quede exento de acetona.
- Al concluir el tiempo de ensayo, se extrae el cartucho que contiene la muestra del separador de vidrio y se retira el balón del equipo.
- Luego se coloca el balón, conteniendo el extracto, en la estufa de secado, durante 2 horas, manteniendo a 50 °C, de tal manera que el balón quede exento de vapores de acetona.
- Se enfría en el desecador y se van haciendo las pesadas hasta peso constante (W).

## EXPRESION DE LOS RESULTADOS

El porcentaje de extracto acetónico se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Extracto Acetónico}\% = \frac{W - P}{S} \times 100$$

Dónde:

W= Peso del balón conteniendo el extracto, en gramos.

P= Peso del balón, en gramos.

S= Peso de la muestra, en gramos.

### **C. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA GOGAN**

Para determinar la dureza del material de fricción elaborado se hace uso del durómetro Gogan.

El procedimiento para calcular la dureza del material de fricción elaborado es el siguiente:

- Prenda la bomba de la máquina, se espera unos minutos para permitir su estabilización.
- Instalar de forma adecuada el penetrador a utilizar.
- Colocar la muestra sobre el plato soporte, conservando la distancia recomendada (15 mm) entre el penetrador y el material a ensayar.
- Accionar el botón de inicio de ciclo, el cual hace que el penetrador se acerque y entre en contacto con el material a ensayar y se empiece aplicar la carga (1500 psia)
- Anote la lectura de dureza Gogan que se indica en el dial indicador de la máquina.
- Apague la bomba de la máquina.

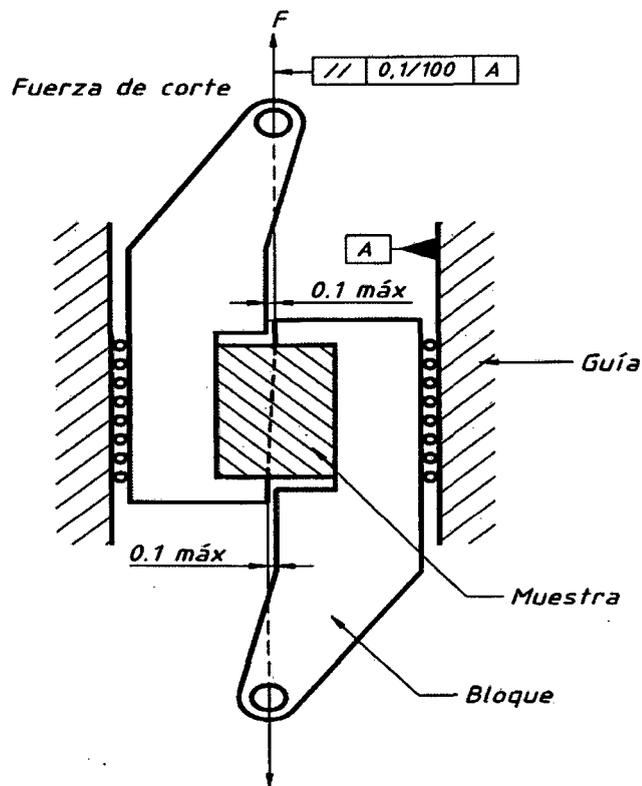
### **D. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO.**

Para determinar la resistencia al corte por cizallamiento de la probeta (**muestra de material de fricción a ensayar**) se utilizó el método que consiste en aplicar una fuerza vertical con una velocidad controlada, sobre un área determinada, la que causara el rompimiento de la probeta.

Para ello se cuenta con una máquina de ensayo de tensión o compresión que está equipada con los accesorios adecuados y capaces de aplicar la carga requerida sobre la muestra de acuerdo a la figura 4.3. (pag. 66) La máquina esta provista por un registrador de la fuerza de corte.

FIGURA 4.3

DISPOSITIVO DE APLICACIÓN DE LA CARGA DE CORTE



Fuente: Propia

El procedimiento para la determinación de la resistencia al corte del material de fricción es el siguiente:

- Preparar la probeta de ensayo, la que debe ser plana y con las dimensiones dadas.
- Colocar la probeta de ensayo en el dispositivo.
- Aplicar la carga en el centro del dispositivo y de la probeta, paralelo de la guía dentro de  $0,1 \text{ mm}$  en una longitud de  $100 \text{ mm}$ , con una velocidad controlada de tal manera que se incremente la carga a un valor promedio de  $4 \text{ 500 N/s} \pm 500 \text{ N/s}$
- El ensayo deberá llevarse a cabo hasta el rompimiento del material de fricción.

## EXPRESION DE LOS RESULTADOS:

La resistencia interna al corte se calcula con la siguiente ecuación:

$$\textit{Resistencia al Corte (S)} = F/A$$

Dónde:

S = Resistencia al corte, en N/mm<sup>2</sup>

F = Fuerza de corte, en N

A = Área bajo esfuerzo, en cm<sup>2</sup>

### 4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos

#### 4.6.1. Tratamiento Estadístico

Se realizó una experimentación activa con un diseño experimental del tipo Diseño factorial completo de múltiples niveles con tres factores, que permitió evaluar simultáneamente todas las variables consideradas y además evaluar la fuerza de interacción entre las variables y reducir el número de experimentos que se llevó a cabo.

La evaluación e interacción se realizó en base al modelo factorial multinivel empleando el software MINITAB 16

#### 4.6.2. Análisis Estadístico

Se realizó en base al análisis de la varianza (ANOVA). Para lo cual se utilizó como software el MINITAB.16 y el Excel 2010.

##### ❖ El análisis de la varianza (Anova)

El análisis de la varianza (ANOVA) es una potente herramienta estadística, de gran utilidad tanto en la industria, para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos.

La comparación de diversos conjuntos de resultados es habitual en los laboratorios analíticos. Así, por ejemplo, una serie de laboratorios que analizan una misma muestra con el mismo método (ensayos colaborativos).

El objetivo del ANOVA es comparar los diversos valores medios para determinar si alguno de ellos difiere significativamente del resto. Expresiones para el cálculo del ANOVA de un factor (K indica el número de ensayos y N el número total de resultados)

Un método computacional conocido como tabla ANOVA facilita los cálculos. Se trata de disponer en forma de tabla ciertas cantidades que conducen a la obtención de F.

**CUADRO 4.5.**  
**CUADRO DE ENSAYOS ANOVA**

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Fcal
Entre ensayos	$SS_{\text{ENSAYO}} = \sum_{K=1}^K n_k (\bar{x} - \bar{\bar{x}})^2$	K - 1	$MS_{\text{ensayo}} = \frac{SS_{\text{ensayo}}}{K - 1}$	$F = \frac{MS_{\text{ens}}}{MS_{\text{R}}}$
	$SS_{\text{R}} = \sum_{K=1}^K \sum_{j=1}^{n_k} n_k (x_{kj} - \bar{\bar{x}})^2$	N - K	$MS_{\text{R}} = \frac{SS_{\text{R}}}{N - K}$	
Total	$SS_{\text{T}} = \sum_{K=1}^K \sum_{j=1}^{n_k} n_k (x_{kj} - \bar{\bar{x}})^2$	N - 1	$MS_{\text{t}} = \frac{SS_{\text{t}}}{N - 1}$	

**Fuente: Herramientas estadísticas - 2005**

Se calculan, por tanto, MS ensayo y MSR como una medida de las dispersiones y se comparan mediante una prueba de hipótesis F. Si no existe diferencia estadísticamente significativa entre ellas, la presencia de errores aleatorios será la causa predominante de la discrepancia entre los valores medios. Si, por el contrario, existe algún error sistemático, MS ensayo será mucho mayor que MSR, con lo cual el valor calculado de F será mayor que el valor tabulado F tab para el nivel de significación ha escogido y los grados de libertad mencionados.

V.

RESULTADOS

5.1. CARACTERIZACION DE LA RESINA FENOLICA

Todos los ensayos realizados a la resina se hicieron con una muestra cuyo contenido de reticulante (Hexa) fue de 7%.

a) DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE LA RESINA

Se llevó a cabo a una temperatura de 125°C por un tiempo de 23 min.

TABLA 5.1.

LONGITUD DE FLUJO DE LA RESINA PURA Y COMPUESTA

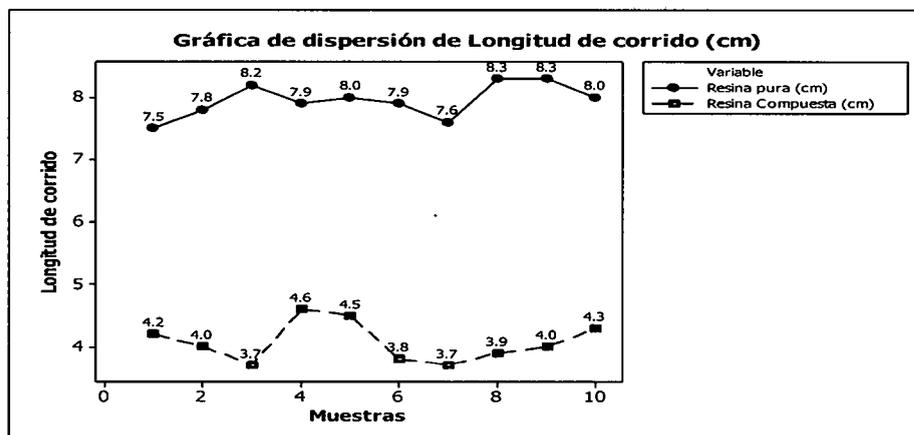
Muestras	RESINA PURA	RESINA COMPUESTA*
	Longitud (cm)	Longitud (cm)
1	7,5	4,2
2	7,8	4,0
3	8,2	3,7
4	7,9	4,6
5	8,0	4,5
6	7,9	3,8
7	7,6	3,7
8	8,3	3,9
9	8,3	4,0
10	8,0	4,3
<b>Promedio</b>	<b>8,0</b>	<b>4,1</b>

Fuente: Propia.

\*Resina compuesta se le considera a la combinación de la resina con su reticulante el hexametilentetramina.

GRAFICA 5.1.

LONGITUD DE CORRIDO DE LA RESINA PURA Y COMPUESTA



Fuente: Propia.

**b) DETERMINACIÓN DEL SET TIME DE LA RESINA – CURADO**

A una temperatura de 150°C.

**TABLA 5.2.**

**TIEMPO DE CURADO DE LA RESINA FENÓLICA.**

<b>Muestras</b>	<b>Tiempo de curado (seg)</b>
1	45
2	48
3	47
4	48
5	52
6	46
7	47
8	48
9	51
10	46
<b>Promedio</b>	<b>48</b>

*Fuente: Propia*

**c) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HEXAMETILENTETRAMINA**

A la resina compuesta se le determino el porcentaje de Hexa.

**TABLA 5.3.**

**CONTENIDO DE HEXAMETILENTETRAMINA EN LA RESINA FENÓLICA.**

<b>Muestras</b>	<b>Contenido de Hexa%</b>
1	7.2
2	6.6
3	7.5
4	6.8
5	7.7
6	6.5
7	7.0
8	6.7
9	7.3
10	7.2
<b>Promedio</b>	<b>7.1</b>

*Fuente: Propia*

d) DETERMINACIÓN EL PUNTO DE FUSION DE LA RESINA

TABLA 5.4.  
PUNTO DE FUSIÓN DE LA RESINA FENÓLICA.

Muestras	Punto de fusión (°C)
1	92
2	90
3	95
4	90
5	91
6	90
7	94
8	90
9	92
10	94
<b>Promedio</b>	<b>91.8</b>

*Fuente: Propia*

e) DETERMINACIÓN EL pH DE LA RESINA

TABLA 5.5.  
PH DE LA RESINA FENÓLICA.

Muestras	pH de la resina
1	6,5
2	6,8
3	6,5
4	6,2
5	6,4
6	6,5
7	6,8
8	6,1
9	6,3
10	6,1
<b>Promedio</b>	<b>6,4</b>

*Fuente: Propia*

## f) DETERMINACIÓN DEL FENOL LIBRE EN LA RESINA

**TABLA 5.6.**  
**FENOL LIBRE EN LA RESINA FENOLICA**

Muestras	Fenol libre%
1	0,2
2	0,4
3	0,3
4	0,5
5	0,4
6	0,4
7	0,4
8	0,5
9	0,3
10	0,3
<b>Promedio</b>	<b>0,4</b>

*Fuente: Propia*

## 5.2. CARACTERIZACION DE LA MEZCLA RESINA – ALCOHOL

Para la caracterización de la mezcla resina alcohol se tomaron diferentes concentraciones con una base de resina fenólica de 10 kilos para cada mezcla.

### a) DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD – MÉTODO DE LA COPA GARDNER.

**TABLA 5.7.**  
**DENSIDAD DE LA MEZCLA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE RESINA Y ALCOHOL**

MEZCLA RESINA- ALCOHOL	DENSIDAD(g/ml)	
20 – 80	0,82	0,835
	0,85	
30 -70	0,80	0,815
	0,83	
50 – 50	0,76	0,750
	0,74	

*Fuente: Propia.*

**b) DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD BROOKFIELD**

**TABLA 5.8.**  
**VISCOSIDAD BROOKFIELD DE LA MEZCLA RESINA ALCOHOL**

MEZCLA RESINA- ALCOHOL	RPM	TORQUE %	N° de SPIN	VISCOSIDAD BROOKFIELD cp	
20 – 80	100	23	1	22,5	<b>23,3</b>
				24,1	
30 -70	100	27	1	70,5	<b>71,4</b>
				72,3	
50 – 50	100	35	1	185,2	<b>182,95</b>
				180,7	

*Fuente: Propia.*

**c) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SOLIDOS**

**TABLA 5.9.**  
**CONTENIDO DE SÓLIDOS DE LA MEZCLA RESINA – ALCOHOL**

MEZCLA RESINA- ALCOHOL	TIEMPO DE MEZCLA (seg.)	VOLATILES %	SOLIDOS%	
20 – 80	300	85,14	14,86	<b>19,74</b>
	600	82,68	17,32	
	900	80,26	19,74	
30 -70	300	84,66	15,34	<b>28,16</b>
	900	79,65	20,35	
	1200	71,84	28,16	
50 – 50	600	74,66	25,34	<b>49,12</b>
	900	61,55	38,45	
	1800	50,88	49,12	

*Fuente: Propia.*

### 5.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para determinar la cantidad de experiencia se utilizó el diseño factorial multinivel, con el software - MINITAB 16

#### Diseño factorial de múltiples niveles

Factores: 3 Réplicas: 5  
 Corridas base: 18 Total de corridas: 90  
 Bloques base: 1 Total de bloques: 1

Número de niveles: 3, 3, 2

**TABLA 5.10.**

**MATRIZ FACTORIAL MULTINIVEL DEL DISEÑO EXPERIMENTAL**

FACTORES							
Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION (min)	TIPO DE IMPREGNACION	
1	1	1	1	20 – 80	1er Grupo	Aire Frío	
2	2	1	1	20 – 80		Aire Caliente	
3	3	1	1	20 – 80		40	Aire Frío
4	4	1	1	20 – 80		40	Aire Caliente
5	5	1	1	20 – 80		60	Aire Frío
6	6	1	1	20 – 80		60	Aire Caliente
7	7	1	1	30 – 70	2do Grupo	Aire Frío	
8	8	1	1	30 – 70		20	Aire Caliente
9	9	1	1	30 – 70		40	Aire Frío
10	10	1	1	30 – 70		40	Aire Caliente
11	11	1	1	30 – 70		60	Aire Frío
12	12	1	1	30 – 70		60	Aire Caliente
13	13	1	1	50 – 50	3er Grupo	Aire Frío	
14	14	1	1	50 – 50		20	Aire Caliente
15	15	1	1	50 – 50		40	Aire Frío
16	16	1	1	50 – 50		40	Aire Caliente
17	17	1	1	50 – 50		60	Aire Frío
18	18	1	1	50 – 50		60	Aire Caliente

*Fuente: Propia.*

De acuerdo a la matriz factorial de experimentos, se realizaron 18 experiencias, cuya resistencia al corte por cizallamiento se compararon en grupos de a 2 para una mejor presentación.

### 1. EXPERIMENTO N°1 Y N°2

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION	TIPO DE IMPREGNACION
1	1	1	1	20 – 80	20 min	Aire Frío
2	2	1	1	20 – 80	20 min	Aire Caliente

**TABLA 5.11.**  
**RESISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO DEL MATERIAL N°1 Y N°2**

N° De Experimento	Presión manométrica de rotura en MPa	Fuerza de corte en Newton	Área de corte raíz del diente		Esfuerzo al corte MPa
			13,80 x10 <sup>-3</sup> m (e)	16,00 x10 <sup>-3</sup> m (a)	
N° 1	7,65	14028	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		63,51
	7,72	14155			64,08
	8,83	16177			73,24
	8,27	15166			68,66
	8,48	15545			70,38
N° 2	8,96	16429	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		74,38
	9,31	17061			77,24
	8,69	15924			72,09
	10,00	18325			82,96
	8,62	15798			71,52

*Fuente: Propia.*

## 2. EXPERIMENTO N°3 Y N°4

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION	TIPO DE IMPREGNACION
3	3	1	1	20 – 80	40min	Aire Frío
4	4	1	1	20 – 80	40min	Aire Caliente

**TABLA 5.12.**  
**RESISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO DEL MATERIAL N°3 Y N°4**

N° De Experimento	Presión manométrica de rotura en MPa	Fuerza de corte en Newton	Área de corte raíz del diente		Esfuerzo al corte MPa
			13,80 x10 <sup>-3</sup> m (e)	16,00 x10 <sup>-3</sup> m (a)	
N° 3	8,27	15166	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		68,66
	7,58	13902			62,94
	9,31	17061			77,24
	8,27	15166			68,66
	8,96	16429			74,38
N° 4	8,27	15166	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		68,66
	9,10	16682			75,53
	8,62	15798			71,52
	8,96	16429			74,38
	8,65	15861			71,80

*Fuente: Propia.*

### 3. EXPERIMENTO N°5 Y N°6

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION	TIPO DE IMPREGNACION
5	5	1	1	20 – 80	60min	Aire Frío
6	6	1	1	20 – 80	60min	Aire Caliente

**TABLA 5.13.**  
**RESISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO DEL MATERIAL N°5 Y N°6**

N° De Experimento	Presión manométrica de rotura en MPa	Fuerza de corte en Newton	Área de corte raíz del diente		Esfuerzo al corte MPa
			13,80 x10 <sup>-3</sup> m (e)	16,00 x10 <sup>-3</sup> m (a)	
N° 5	8,96	16429			74,38
	8,62	15798			71,52
	9,65	17693	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		80,11
	8,27	15166			68,66
	9,31	17061			77,24
N° 6	8,96	16429			74,38
	8,27	15166			68,66
	8,65	15861	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		71,80
	9,34	17124			77,53
	9,65	17693			80,11

*Fuente: Propia.*

#### 4. EXPERIMENTO N°7 Y N°8

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION	TIPO DE IMPREGNACION
7	7	1	1	30 – 70	20min	Aire Frío
8	8	1	1	30 – 70	20min	Aire Caliente

**TABLA 5.14.**  
**RÉSISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO DEL MATERIAL N°7 Y N°8**

N° De Experimento	Presión manométrica de rotura en MPa	Fuerza de corte en Newton	Área de corte raíz del diente		Esfuerzo al corte MPa
			13,80 x10 <sup>-3</sup> m (e)	16,00 x10 <sup>-3</sup> m (a)	
N° 7	8,62	15798			71,52
	8,96	16429			74,38
	8,96	16429	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		74,38
	10,00	18325			82,96
	8,27	15166			68,66
N° 8	8,96	16429			74,38
	10,00	18325			82,96
	8,83	16177	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		73,24
	9,31	17061			77,24
	9,52	17440			78,96

*Fuente: Propia.*

## 5. EXPERIMENTO N°9 Y N°10

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION	TIPO DE IMPREGNACION
9	9	1	1	30 – 70	40min	Aire Frío
10	10	1	1	30 – 70	40min	Aire Caliente

**TABLA 5.15.**  
**RESISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO DEL MATERIAL N°9 Y N°10**

N° De Experimento	Presión manométrica de rotura en MPa	Fuerza de corte en Newton	Área de corte raíz del diente		Esfuerzo al corte MPa
			13,80 x10 <sup>-3</sup> m (e)	16,00 x10 <sup>-3</sup> m (a)	
N° 9	10,00	18325	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		82,96
	9,52	17440			78,96
	10,34	18957			85,82
	10,03	18388			83,25
	10,69	19589			88,68
N° 10	10,34	18957	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		85,82
	9,65	17693			80,11
	10,69	19589			88,68
	11,38	20853			94,41
	11,72	21485			97,27

*Fuente: Propia.*

## 6. EXPERIMENTO N°11 Y N°12

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION	TIPO DE IMPREGNACION
11	11	1	1	30 – 70	60min	Aire Frío
12	12	1	1	30 – 70	60min	Aire Caliente

**TABLA 5.16.**  
RESISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO DEL MATERIAL N°11 Y N°12

N° De Experimento	Presión manométrica de rotura en MPa	Fuerza de corte en Newton	Área de corte raíz del diente		Esfuerzo al corte MPa
			13,80 x10 <sup>-3</sup> m (e)	16,00 x10 <sup>-3</sup> m (a)	
N° 11	10,34	18957			85,82
	11,38	20853			94,41
	11,03	20221	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		91,54
	10,69	19589			88,68
	11,03	20221			91,54
N° 12	11,38	20853			94,41
	11,58	21232			96,12
	10,69	19589	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		88,68
	11,03	20221			91,54
	11,72	21485			97,27

*Fuente: Propia.*

## 7. EXPERIMENTO N°13 Y N°14

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION	TIPO DE IMPREGNACION
13	13	1	1	50 – 50	20min	Aire Frío
14	14	1	1	50 – 50	20min	Aire Caliente

**TABLA 5.17.**  
RESISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO DEL MATERIAL N°13 Y N°14

N° De Experimento	Presión manométrica de rotura en MPa	Fuerza de corte en Newton	Área de corte raíz del diente		Esfuerzo al corte MPa
			13,80 x10 <sup>-3</sup> m (e)	16,00 x10 <sup>-3</sup> m (a)	
N° 13	11,72	21485			97,27
	12,07	22117			100,13
	11,58	21232	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		96,12
	11,38	20853			94,41
	11,03	20221			91,54
N° 14	12,41	22748			102,99
	13,65	25023			113,29
	12,07	22117	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		100,13
	12,76	23380			105,85
	13,10	24012			108,71

Fuente: Propia.

## 8. EXPERIMENTO N°15 Y N°16

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION	TIPO DE IMPREGNACION
15	15	1	1	50 – 50	40	Aire Frío
16	16	1	1	50 – 50	40	Aire Caliente

**TABLA 5.18.**  
RESISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO DEL MATERIAL N°15 Y N°16

N° De Experimento	Presión manométrica de rotura en MPa	Fuerza de corte en Newton	Área de corte raíz del diente		Esfuerzo al corte MPa
			13,80 x10 <sup>-3</sup> m (e)	16,00 x10 <sup>-3</sup> m (a)	
N° 15	13,10	24012			108,71
	15,31	28056			127,02
	13,79	25276	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		114,44
	13,65	25023			113,29
	13,24	24265			109,86
N° 16	16,55	30331			137,32
	16,00	29320			132,74
	16,55	30331	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		137,32
	15,86	29067			131,60
	14,48	26540			120,15

Fuente: Propia.

## 9. EXPERIMENTO N°17 Y N°18

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	RESINA – ALCOHOL	TIEMPO DE IMPREGNACION	TIPO DE IMPREGNACION
17	17	1	1	50 – 50	60	Aire Frío
18	18	1	1	50 – 50	60	Aire Caliente

**TABLA 5.19.**  
**RESISTENCIA AL CORTE POR CIZALLAMIENTO DEL MATERIAL N°17 Y N°18**

N° De Experimento	Presión manométrica de rotura en MPa	Fuerza de corte en Newton	Área de corte raíz del diente		Esfuerzo al corte MPa
			13,80 x10 <sup>-3</sup> m (e)	16,00 x10 <sup>-3</sup> m (a)	
N° 17	13,79	25276			114,44
	14,48	26540			120,15
	15,86	29067	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		131,60
	15,17	27804			125,88
	14,82	27172			123,01
N° 18	15,17	27804			125,88
	15,93	29194			132,17
	13,79	25276	220,8 x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>		114,44
	16,55	30331			137,32
	16,41	30078			136,18

*Fuente: Propia.*

#### 5.4. PRUEBAS DE SECADO

Las muestras impregnadas con las diferentes concentraciones de resina en alcohol fueron sometidas a dos tipos de pruebas de secado, ambas se realizaron en un túnel de secado pasando por una cinta transportadora.

##### 1. SECADO EN FRIO - (SECADO CON AIRE DESHUMIDIFICADO)

Este método se emplea generalmente para el secado de lacas, se obtiene un endurecimiento de la resina fenólica no agresivo.

La muestra fue secada con una corriente de aire de  $1,5 \text{ m}^3/\text{min}$  que atraviesa la cinta transportadora. El aire se mantiene a una temperatura de  $20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$  y el flujo es proporcionado por ventiladores industriales.

##### 2. SECADO EN CALIENTE - (AIRE CALIENTE)

La muestra fue secada con una corriente de aire caliente proveniente de un quemador. El flujo de aire caliente se mantuvo a una temperatura máxima de  $70^\circ\text{C}$ , esto debido a que la resina fenólica tiene una temperatura de curado que empieza desde los  $85^\circ\text{C}$ .

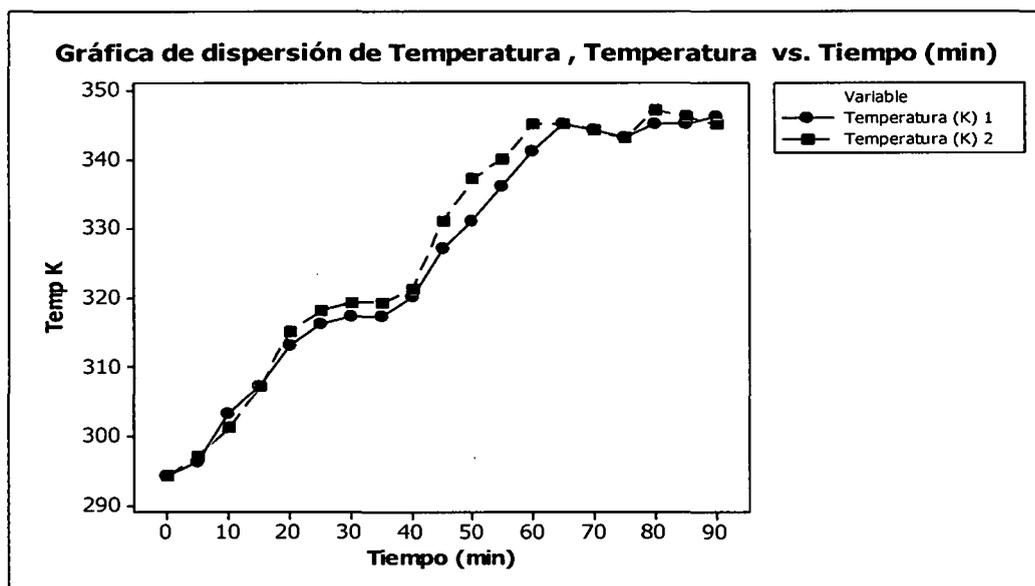
Las temperaturas fueron tomadas en dos puntos mediante una Termocupla del tipo K.

**TABLA 5.20.**  
**REGISTRO DE TEMPERATURA DE SECADO VERSUS EL TIEMPO.**  
**Resina/Alcohol - 50/50**

Tiempo (min)	Temperatura (K) 1	Temperatura (K) 2	Tiempo (min)	Temperatura (K) 1	Temperatura (K) 2
0	294,15	294,15	50	331,15	337,15
5	296,15	297,15	55	336,15	340,15
10	303,15	301,15	60	341,15	345,15
15	307,15	307,15	65	345,15	345,15
20	313,15	315,15	70	344,15	344,15
25	316,15	318,15	75	343,15	343,15
30	317,15	319,15	80	345,15	347,15
35	317,15	319,15	85	345,15	346,15
40	320,15	321,15	90	346,15	345,15
45	327,15	331,15			

*Fuente: Propia.*

**GRAFICA 5.2.**  
**TEMPERATURA DE SECADO VERSUS EL TIEMPO**



*Fuente: Propia*

*Lo que se observa es que el tiempo de secado es de 90 minutos.*

**5.5. ANÁLISIS ANOVA**

Se realizó el análisis ANOVA cada 6 experiencias, que corresponde a los resultados de resistencia al corte por cizallamiento de las muestras preparadas a diferentes concentraciones de resina – alcohol, además se compararon mediante dos métodos, la prueba de Tukey el cual nos permite comparar múltiples ensayos en un solo paso y el método de Fisher que se basa en el T-Student.

**5.5.1. Concentración: Resina – Alcohol 20/80 (Grupo N°1)**

**TABLA 5.21.**  
**ANOVA UNIDIRECCIONAL 20/80**

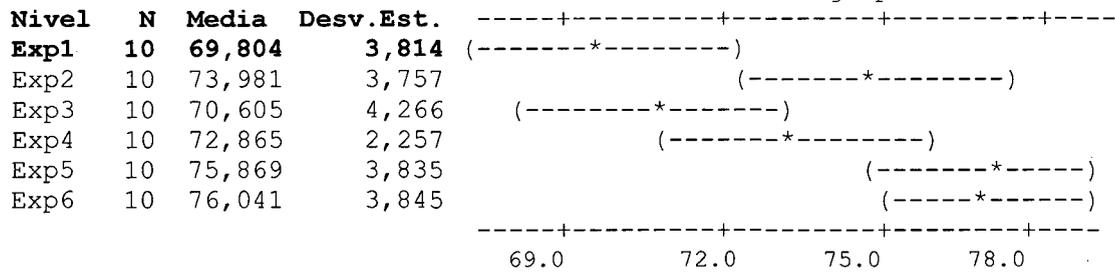
ANOVA unidireccional: Exp1, Exp2, Exp3, Exp4, Exp5, Exp6					
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	5	341,8	68,4	5,04	0,0005
Error	54	733,1	13,6		
Total	59	1074,9			

---

S = 3,684 R-cuad. = 31,80% R-cuad.(ajustado) = 25,48%

*Fuente: Propia.*

ICs de 95% individuales para la media  
Basados en Desv.Est. Agrupada



Desv.Est. agrupada = 3,685

### • PRUEBA TUKEY

Se agrupó la información utilizando el método de Tukey, obteniendo la siguiente tabla.

**TABLA 5.22.**  
**AGRUPACIÓN TUKEY 20/80**

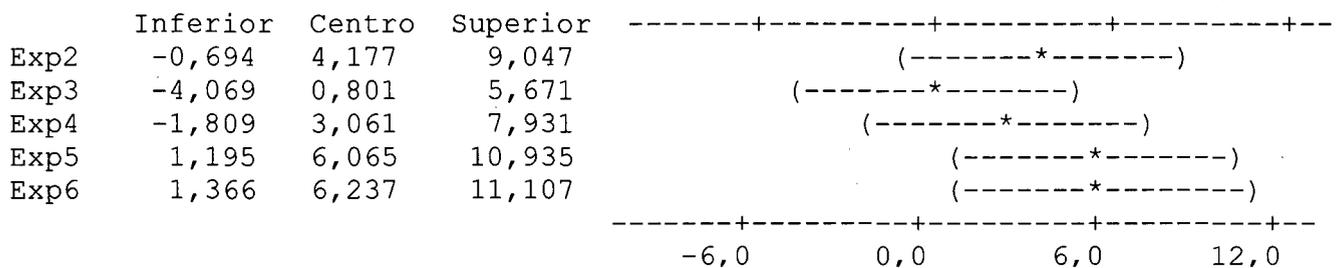
Nivel	N	Media	Agrupación
Exp6	10	76,041	A
Exp5	10	75,869	A
Exp2	10	73,981	A B
Exp4	10	72,865	A B
Exp3	10	70,605	B
Exp1	10	69,804	B

*Fuente: Propia.*

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

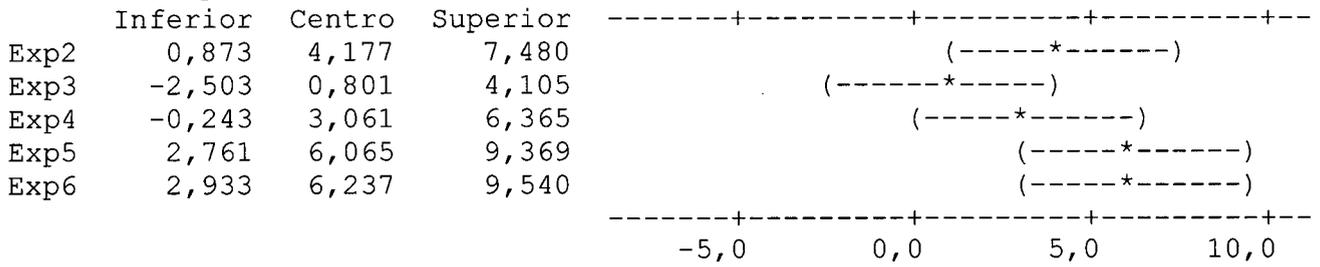
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%. Todas las comparaciones se realizaron en parejas

Nivel de confianza individual = 99.54%

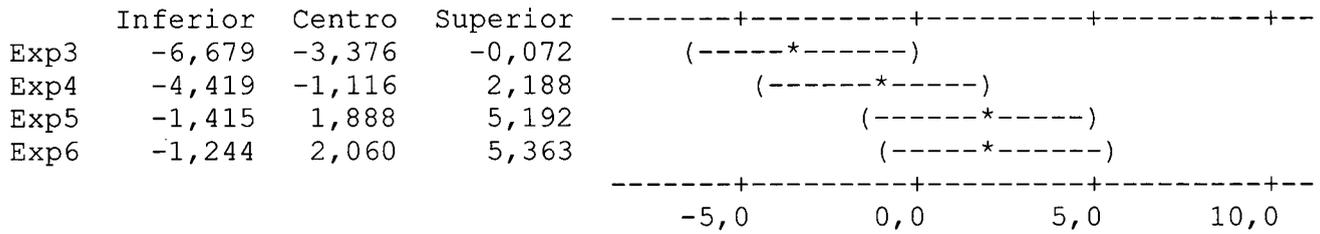




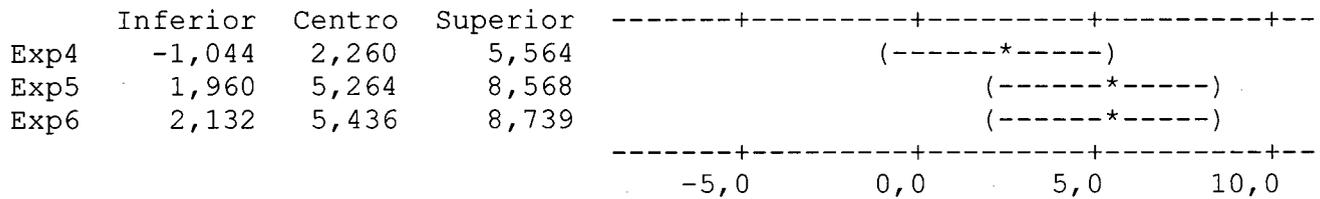
Se restó Exp1 a:



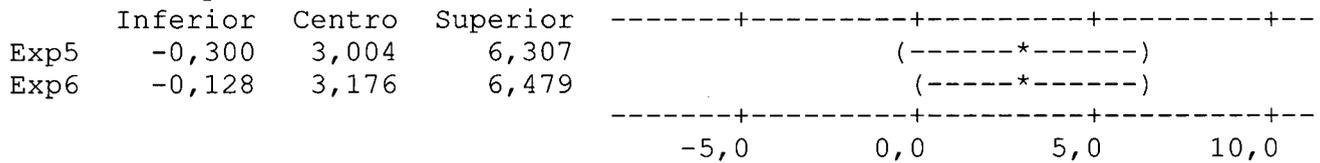
Se restó Exp2 a:



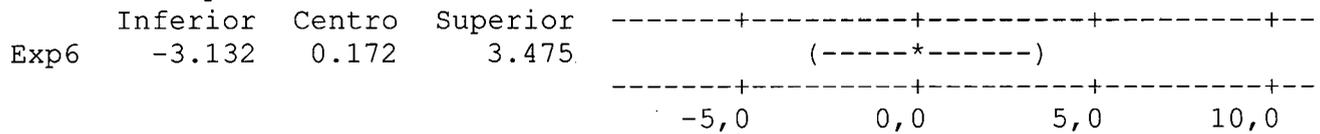
Se restó Exp3 a:



Se restó Exp4 a:

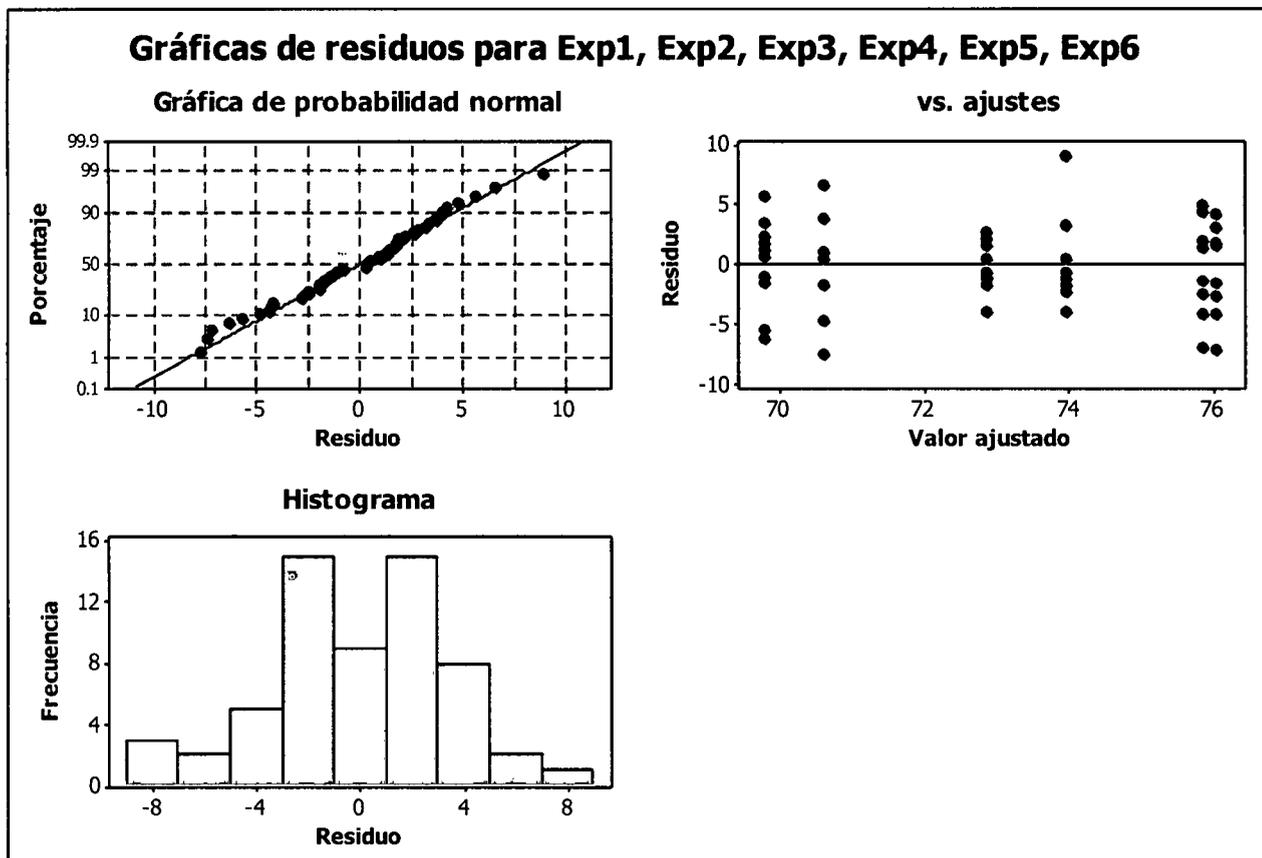


Se restó Exp5 a:



**Se observa que la resistencia al corte para este grupo (Nº1) presentan valores muy cercanos pese a tener factores variantes (tiempo y tipo de impregnación).**

**GRAFICA 5.3.**  
**CONCENTRACIÓN RESINA – ALCOHOL (20:80)**



*Fuente: Propia.*

**5.5.2. Concentración: Resina – Alcohol 30/70 (Grupo N°2)**

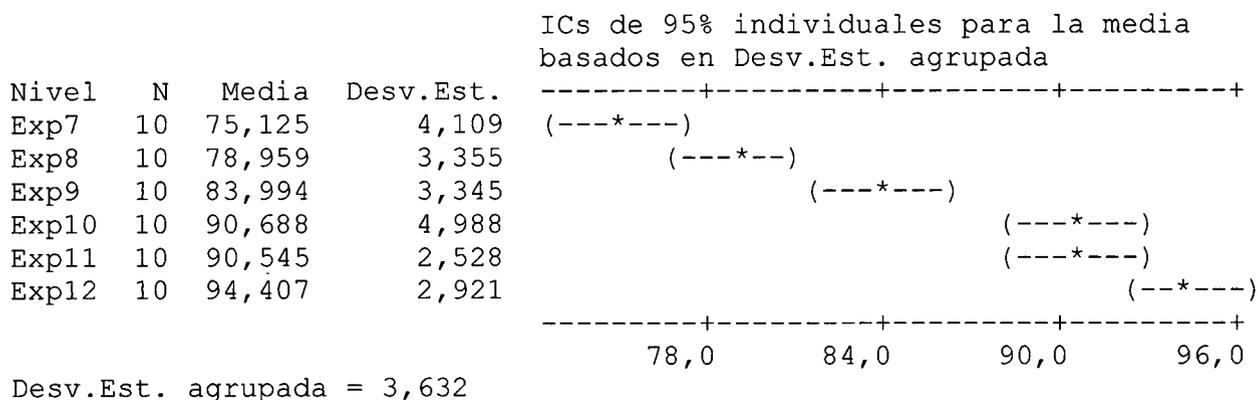
**TABLA 5.24.**  
**ANOVA UNIDIRECCIONAL 30/70**

ANOVA unidireccional: Exp7, Exp8, Exp9, Exp10, Exp11, Exp12					
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	5	2843,1	568,6	43,12	0,0005
Error	54	712,1	13,2		
Total	59	3555,3			

---

S = 3,632    R-cuad. = 79.97%    R-cuad.(ajustado) = 78.11%

*Fuente: Propia.*



• **PRUEBA TUKEY**

Se agrupó la información utilizando el método de Tukey, obteniendo la siguiente tabla.

**TABLA 5.25.  
AGRUPACIÓN TUKEY 30/70**

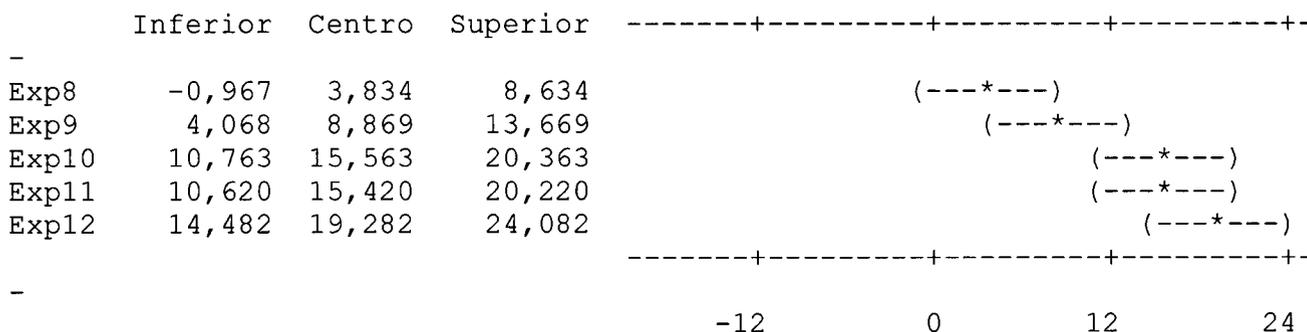
Nivel	N	Media	Agrupación
Exp12	10	94,407	A
Exp10	10	90,688	A
Exp11	10	90,545	A
Exp9	10	83,994	B
Exp8	10	78,959	C
Exp7	10	75,125	C

*Fuente: Propia.*

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%. Todas las comparaciones se realizaron en parejas

Nivel de confianza individual = 99,54%

Se restó Exp7 a:



Se restó Exp8 a:

	Inferior	Centro	Superior	
Exp9	0,235	5,035	9,835	(---*---)
Exp10	6,929	11,729	16,530	(---*---)
Exp11	6,786	11,586	16,387	(---*---)
Exp12	10,648	15,448	20,249	(---*---)
				-----+-----+-----+-----+-----
				-12                    0                    12                    24

Se restó Exp9 a:

	Inferior	Centro	Superior	
Exp10	1,894	6,694	11,495	(---*---)
Exp11	1,751	6,551	11,352	(---*---)
Exp12	5,613	10,413	15,214	(---*---)
				-----+-----+-----+-----+-----
				-12                    0                    12                    24

• **PRUEBA FISHER**

Agrupar información utilizando el método de Fisher

**TABLA 5.26.**  
**AGRUPACIÓN FISHER 30/70**

Nivel	N	Media	Agrupación
Exp12	10	94,407	A
Exp10	10	90,688	B
Exp11	10	90,545	B
Exp9	10	83,994	C
Exp8	10	78,959	D
Exp7	10	75,125	E

*Fuente: Propia.*

Intervalos de confianza individuales de Fisher del 95%. Todas las comparaciones se realizaron en parejas.

Nivel de confianza simultánea = 64,68%

Se restó Exp7 a:

	Inferior	Centro	Superior	
Exp8	0,577	3,834	7,090	(---*---)
Exp9	5,613	8,869	12,125	(---*---)
Exp10	12,307	15,563	18,819	(---*---)
Exp11	12,164	15,420	18,676	(---*---)
Exp12	16,026	19,282	22,538	(---*---)
				-----+-----+-----+-----+-----
				-12                    0                    12                    24

Se restó Exp8 a:

	Inferior	Centro	Superior	
Exp9	1,779	5,035	8,291	(--*--)
Exp10	8,473	11,729	14,985	(--*-)
Exp11	8,330	11,586	14,842	(--*--)
Exp12	12,192	15,448	18,704	(--*--)

-----+-----+-----+-----+-----  
-12                    0                    12                    24

Se restó Exp9 a:

	Inferior	Centro	Superior	
Exp10	3,438	6,694	9,950	(--*--)
Exp11	3,295	6,551	9,807	(-*--)
Exp12	7,157	10,413	13,669	(--*--)

-----+-----+-----+-----+-----  
-12                    0                    12                    24

**Se observa que la resistencia al corte para este grupo (Nº2) presentan valores distantes, solo para un tiempo de impregnación de 60 min. se obtuvieron valores semejantes**

### 5.5.3. Concentración: Resina – Alcohol 50/50 (Grupo Nº3)

**TABLA 5.27.  
ANOVA UNIDIRECCIONAL 50/50**

ANOVA unidireccional: Exp13, Exp14, Exp15, Exp16, Exp17, Exp18					
Fuente	GL	SC	CM	F	P
<b>Factor</b>	5	9715,2	1943,0	59.64	0.000
<b>Error</b>	54	1759,4	32,6		
<b>Total</b>	59	11474,6			

---

**S = 5,708    R-cuad. = 84.67%    R-cuad.(ajustado) = 83.25%**

**Fuente: Propia.**

Nivel	N	Media	Desv. Est.	
Exp13	10	96,18	2,76	(--*--)
Exp14	10	105,74	4,24	(--*--)
Exp15	10	113,75	5,84	(--*--)
Exp16	10	130,80	6,04	(--*--)
Exp17	10	122,64	6,71	(--*--)
Exp18	10	130,40	7,36	(--*--)

-----+-----+-----+-----+-----  
96                    108                    120                    132

• **PRUEBA TUKEY**

Se agrupo la información utilizando el método de Tukey, obteniendo la siguiente tabla.

**TABLA 5.28.**  
**AGRUPACIÓN TUKEY 50/50**

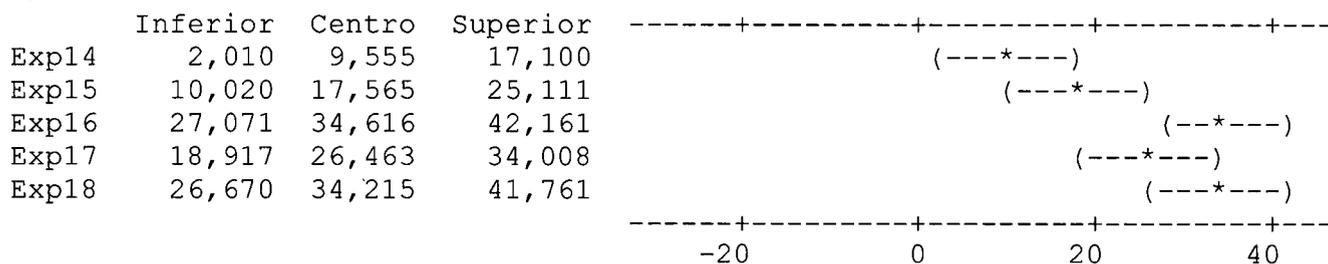
Nivel	N	Media	Agrupación
Exp16	10	130,797	A
Exp18	10	130,396	A
Exp17	10	122,643	B
Exp15	10	113,746	C
Exp14	10	105,736	D
Exp13	10	96,181	E

*Fuente: Propia.*

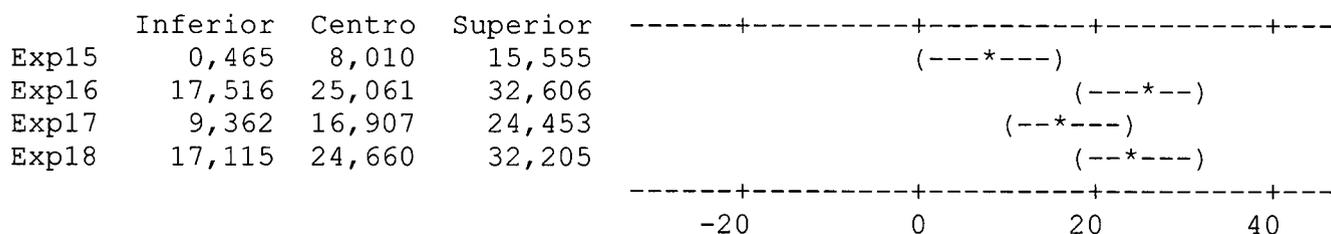
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%. Todas las comparaciones se realizaron en parejas

Nivel de confianza individual = 99,54%

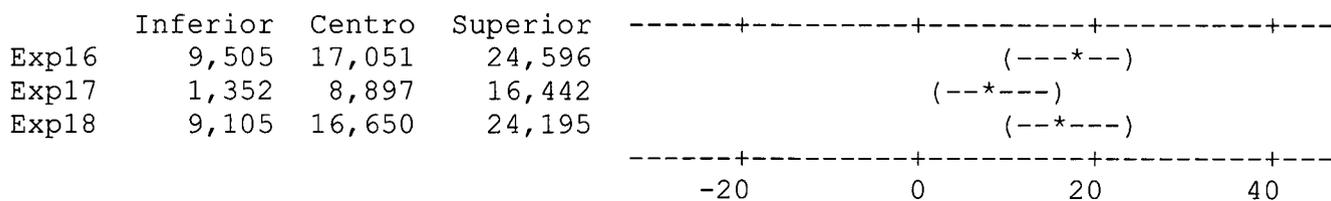
Se restó Exp13 a:



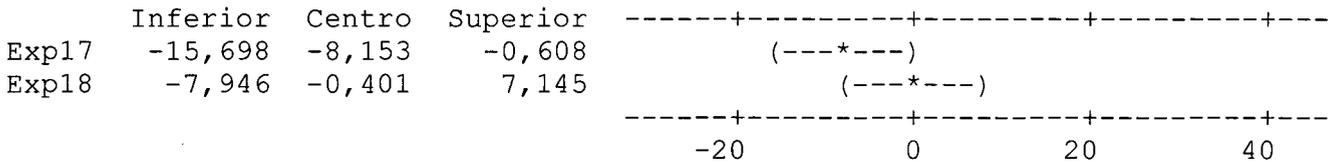
Se restó Exp14 a:



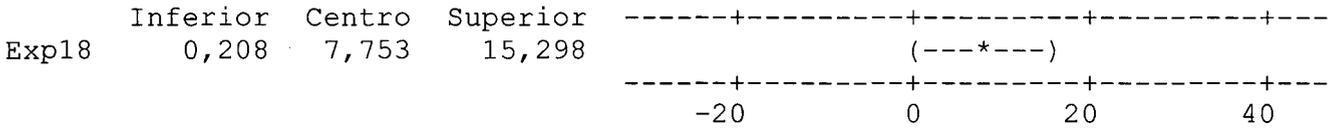
Se restó Exp15 a:



Se restó Exp16 a:



Se restó Exp17 a:



• **PRUEBA FISHER**

Agrupar información utilizando el método de Fisher

**TABLA 5.29.**  
**AGRUPACIÓN FISHER 50/50**

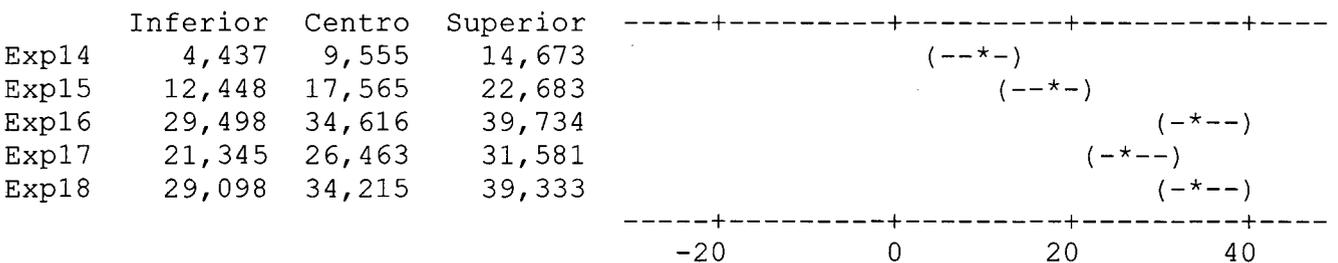
Nivel	N	Media	Agrupación
Exp16	10	130,797	A
Exp18	10	130,396	A
Exp17	10	122,643	B
Exp15	10	113,746	C
Exp14	10	105,736	D
Exp13	10	96,181	E

*Fuente: Propia.*

Intervalos de confianza individuales de Fisher del 95%. Todas las comparaciones se realizaron en parejas.

Nivel de confianza simultánea = 64,68%

Se restó Exp13 a:



**Se observa que la resistencia al corte para este grupo (Nº3) presentan valores muy dispersos, pero con los mayores valores de resistencia que los grupos anteriores**

**TABLA 5.30.**  
**RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS N°1 - N°9**

N° ENSAYO	RESISTENCIA AL CORTE (PSI)								
	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4	EXP 5	EXP 6	EXP 7	EXP 8	EXP 9
1	63,51	74,38	68,66	68,66	74,38	74,38	71,52	74,38	82,96
2	64,08	77,24	62,94	75,53	71,52	68,66	74,38	82,96	78,96
3	73,24	72,09	77,24	71,52	80,10	71,81	74,38	73,24	85,82
4	68,66	82,96	68,66	74,38	68,66	77,53	82,96	77,24	83,25
5	70,38	71,52	74,38	71,81	77,24	80,10	68,66	78,96	88,69
6	75,53	69,80	71,52	75,53	80,68	77,81	71,52	80,68	84,68
7	71,52	73,24	65,80	72,09	77,81	78,96	74,95	77,81	79,82
8	68,09	71,52	70,95	73,24	77,24	73,24	77,24	83,25	88,97
9	70,95	74,38	74,38	74,95	73,24	80,10	78,96	81,25	81,82
10	72,09	72,66	71,52	70,95	77,81	77,81	76,67	79,82	84,97

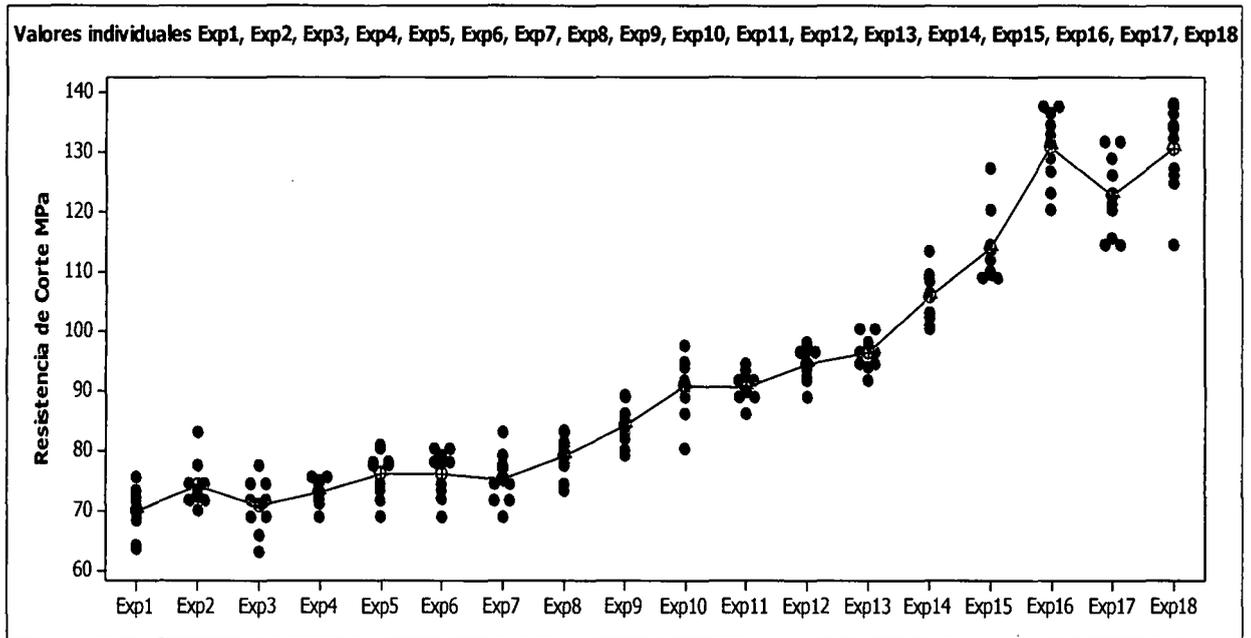
*Fuente: Propia.*

**TABLA 5.31.**  
**RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS N°10- N°18**

N° ENSAYO	RESISTENCIA AL CORTE (PSI)								
	EXP 10	EXP 11	EXP 12	EXP 13	EXP 14	EXP 15	EXP 16	EXP 17	EXP 18
1	85,82	85,82	94,41	97,27	102,99	108,71	137,32	114,43	125,88
2	80,10	94,41	96,12	100,13	113,29	127,02	132,74	120,15	132,17
3	88,69	91,55	88,69	96,12	100,13	114,43	137,32	131,60	114,43
4	94,41	88,69	91,55	94,41	105,85	113,29	131,60	125,88	137,32
5	97,27	91,55	97,27	91,55	108,71	109,86	120,15	123,02	136,18
6	90,40	88,69	96,12	97,84	100,70	108,71	128,74	115,29	134,46
7	90,12	92,12	97,84	94,41	106,14	109,28	134,46	128,74	127,02
8	94,69	89,83	92,12	10,13	102,13	111,86	126,45	121,30	124,73
9	91,55	93,26	93,55	93,83	108,14	120,15	136,18	114,43	133,89
10	93,83	89,54	96,41	96,12	109,28	114,15	123,02	131,60	137,89

*Fuente: Propia.*

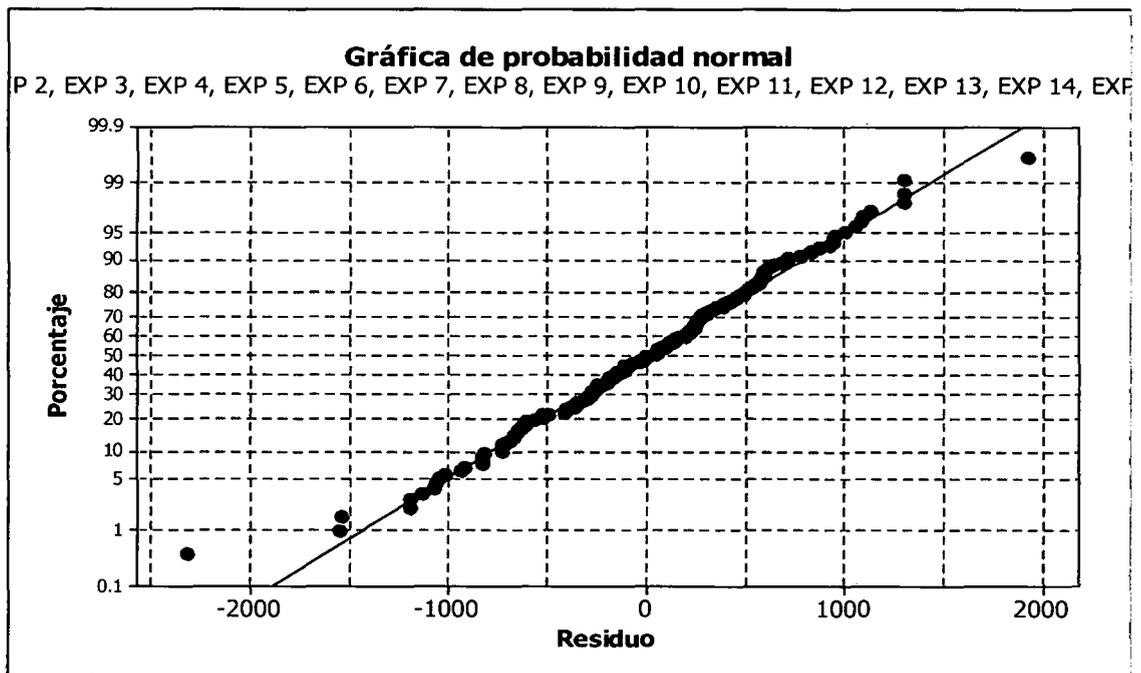
**GRAFICO 5.4.**  
**VALORES INDIVIDUALES DE LAS EXPERIENCIAS**



*Fuente: Propia.*

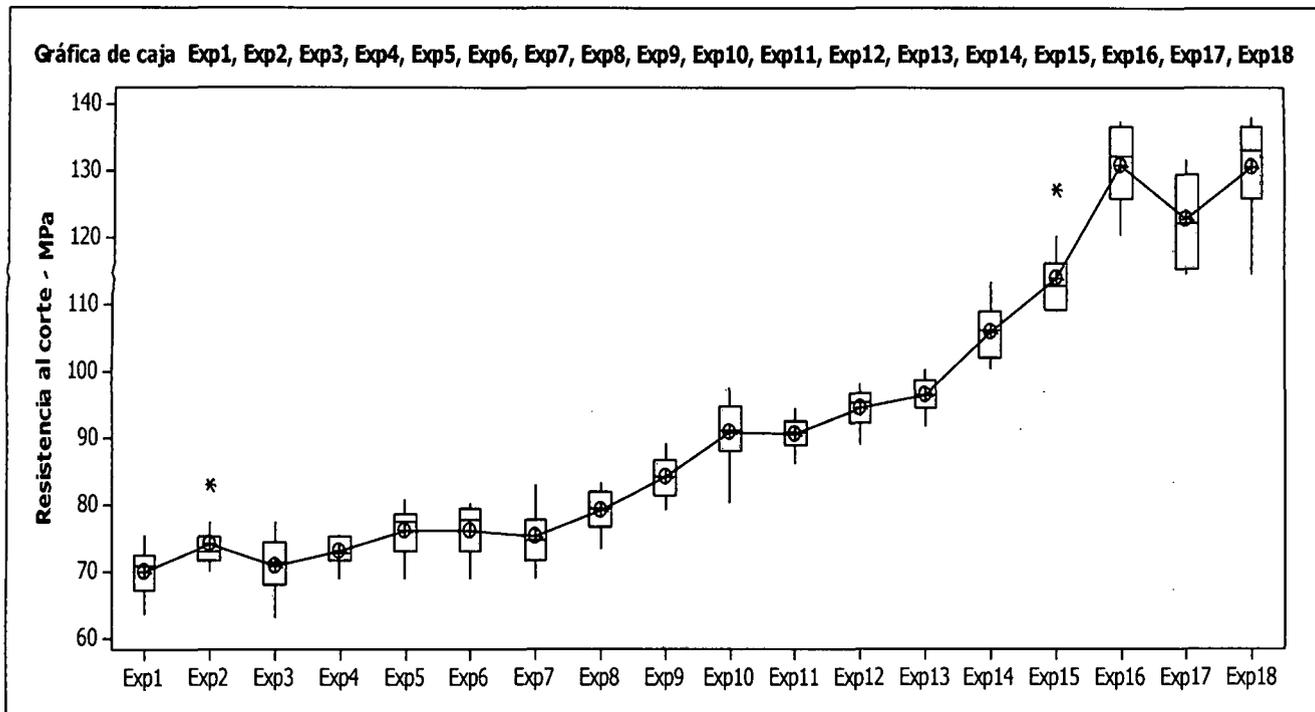
Se observa la proporcionalidad que existe entre la concentración de resina en la mezcla con respecto a la resistencia al corte del material de fricción.

**GRAFICO 5.5.**  
**PROBABILIDAD NORMAL DE LAS EXPERIENCIAS**



*Fuente: Propia.*

GRAFICO 5.6.  
DIAGRAMA DE CAJAS DE LOS ENSAYOS



Fuente: Propia.

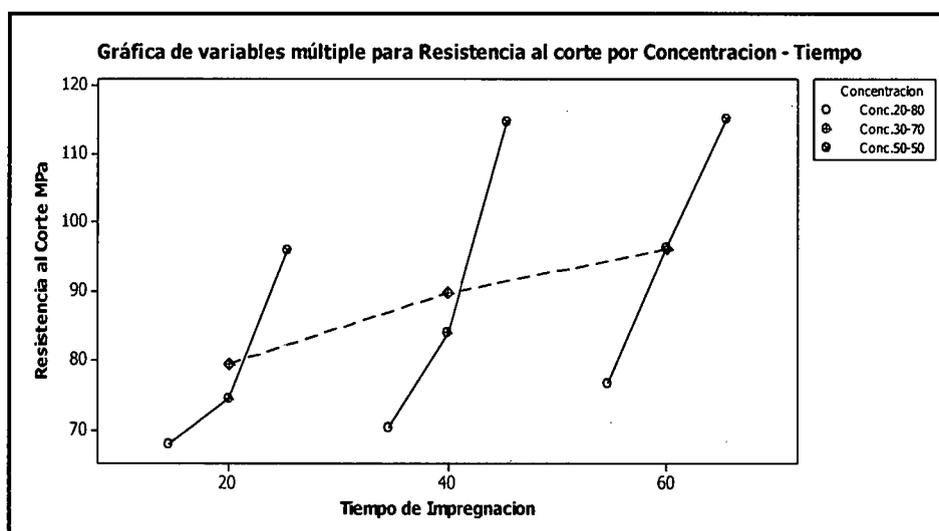
**Los ensayos N°16 y N°17, fueron los que mejor resultado dieron con respecto a la resistencia al corte del material de fricción.**

**TABLA5.32.**  
**RESISTENCIA AL CORTE DE LAS PRUEBAS (MPa)**

Concentración	20 minutos	40 minutos	60 minutos
Relación 20-80	63,51	68,66	74,38
Relación 20-80	64,08	62,94	71,52
Relación 20-80	73,24	77,24	80,11
Relación 20-80	68,66	68,66	68,66
Relación 20-80	70,38	74,38	77,24
Relación 30-70	71,52	82,96	85,82
Relación 30-70	74,38	78,96	94,41
Relación 30-70	74,38	85,82	91,54
Relación 30-70	82,96	83,25	88,68
Relación 30-70	68,66	88,68	91,54
Relación 50-50	100,13	127,02	120,15
Relación 50-50	96,12	114,44	131,60
Relación 50-50	94,41	113,29	125,88
Relación 50-50	91,54	109,86	123,01

*Fuente: Propia.*

**GRAFICA 5.7**  
**VARIABLES MÚLTIPLES DE RESISTENCIA AL CORTE POR**  
**CONCENTRACIÓN**



*Fuente: Propia.*

**Se observa que ha mayor concentración de resina (50/50) y a mayor tiempo de impregnación (40-60min), mayor es la resistencia del material de fricción al corte**

## VI.

## DISCUSION DE LOS RESULTADOS

### 6.1. Contraste de la hipótesis con el resultado.

#### a) Hipótesis General:

En las **tablas N°5.30 y N°5.31** (páginas 97 y 98) se deduce que los valores de resistencia al corte del material de fricción son proporcionales a la concentración de resina fenólica que llevan, además en el **grafico 5.4** (página 99) se observa que para una concentración de 50/50 resina/alcohol, se obtuvieron los mejores resultados (120 -130MPa)

En la **tabla N° 5.32** (página 100) se puede apreciar la influencia de la resina fenólica y de las condiciones de operación (tiempo de impregnación y tipo de secado) en la obtención del material de fricción de alta resistencia al corte, demostrando que se cumple con la hipótesis general.

#### b) Hipótesis Específica:

- Según los resultados que se muestran las **tablas 5.30 y 5.31** (páginas 97 y 98) y al **análisis ANOVA** se deduce que ha mayor concentración de resina utilizada, mayor es la dispersión de los resultados y a la vez mayor la resistencia al corte, esto debido a la influencia de la resina en el material de fricción, tales como el tiempo de curado, contenido de reticulante, tiempo de polimerización y la formación de los ligantes de la resina, demostrando que se cumple la **hipótesis específica N°1**.
- Según los resultados que se muestran en la **tabla 5.32** (página 100) y a la **gráfica 5.7** (página 101) se puede deducir que al variar las concentraciones de resina, el tipo de secado y el tiempo de impregnación, están influyen notoriamente en el resultado del material de fricción, demostrando que se cumple la **hipótesis específica N°2**.

## 6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

En el estudio realizado por la Dra. Alonzo Rubio, María Virginia “Formulación y curado de resinas Fenol – Formaldehido con sustitución parcial del fenol por lignosulfonatos” se puede comparar con los resultados obtenidos en la tabla 6.1.

**TABLA 6.1.  
COMPARACION DE RESULTADOS**

<b>Ensayos</b>	<b>Resultado de la Fuente</b>	<b>Resultado de la Investigación</b>
<b>Reticulante empleado</b>	Hexametilentetramina	Hexametilentetramina
<b>pH de la resina</b>	10,4 – 11,8	6,0 – 6,8
<b>Fenol Libre%</b>	Max 0,2%	Max 0,5%
<b>Tiempo de polimerización (seg.)</b>	10 – 30	45 – 50
<b>Viscosidad empleada en impregnación (cp)</b>	275 – 450	180 – 185
<b>Contenido de Sólidos %</b>	43 – 45	40 – 50

*Fuente: Propia*

- Los resultados mostrados tienen una variación debido a que la resina obtenida por la Dra. Alonso Rubio es una resina fenol formaldehido en base alcalina (pH de la resina superior a 7) esta resina es llamada “Resol”.
- La caracterización (viscosidad y sólidos) para su aplicación en impregnaciones son muy similares a los resultados obtenidos.
- El tiempo de polimerización de una resina resol es menor, esto debido a que la relación Fenol/formaldehido es menor que uno, menor presencia de fenol.
- El reticulante empleado para ambos casos es el Hexametilentetramina, siendo el agente de curado térmico de la resina.

En el estudio realizado por el Tecnólogo Arboleda Orlando “Aplicación del plástico reforzado con fibra de vidrio a partes de ingeniería”, expresa lo siguiente:

- La fibra de vidrio aplicada como reforzamiento en materiales de ingeniería en base polimérica (resinas) otorga resistencia a la tracción, al degradamiento térmico y a la deformación.
- Los materiales reforzados con fibra de vidrio generan buen coeficiente de fricción, evitando el desgaste y además de ser resistente a la corrosión.

En esta tesis se ha impregnado la resina fenólica en una tela reforzada con fibra de vidrio destinada a la fabricación de una herramienta de la ingeniería, obteniendo resultados muy similares tales como buen coeficiente de fricción, resistencia al corte por cizallamiento y dureza del material final. Vease el cuadro 7.1 (pag 106)

## VII.

## CONCLUSIONES

1. El procedimiento de elaboración del material de fricción resistente al corte por cizallamiento es:

PROCESO	PARAMETROS DE CONTROL	VALOR
Elaboración de la resina fenólica	Relación estequiometrica fenol/formaldehido	1/0,84
Mezcla resina fenólica/ alcohol Etílico	Relación Resina/alcohol	50/50
Obtención de material de Fricción	Tiempo de impregnación	45 - 55 min
	Tipo de secado	Aire caliente
	Resistencia al corte por cizallamiento	110 - 138 MPa

2. Las características físico químicas de la resina fenol-formaldehido son:

	PARAMETROS DE CONTROL	VALOR
Características físico- químicas de la Resina Fenólica	Contenido de Hexametilentetramina	7,0%
	Pto. Fusión de la resina pura	80 - 85 °C
	Pto. Fusión de la resina compuesta	88 - 95 °C
	Flujo de polimerización como resina pura	7,5 – 8,0 cm.
	Flujo de polimerización como resina compuesta	3,8 – 4,2 cm.
	Tiempo de polimerización de la resina compuesta	45 - 50 seg
	pH de la resina	6,0 - 6,8
	Contenido de Fenol libre	Max 0,5%

El control de los parámetros en la preparación de la resina fenólica es muy importante, la variación en la relación de fenol/formaldehido implicaría cambios químicos (tiempo de curado, punto de fusión y reactividad química), como también cambios físicos (color, olor y aspecto), todo esto implicaría una variación en las características finales del material de fricción.

3. Las condiciones óptimas de operación, para la obtención del material de fricción resistente al corte por cizallamiento son:

<b>PROCESO</b>	<b>PARAMETROS DE CONTROL</b>	<b>VALOR</b>
Obtención de material de Fricción	Relación Resina/alcohol	50/50
	Tiempo de impregnación	45 - 55 min
	Tipo de secado	Aire caliente
	Temperatura de prensado	150 °C
	Presión de prensado	20,70 MPa
	Resistencia al corte por cizallamiento	110- 138 MPa

## VIII.

## RECOMENDACIONES

- a) En la elaboración de la resina fenólica, para disminuir el uso del fenol se recomienda la sustitución parcial por lignosulfonatos, ya que estos proporcionan unidades fenilpropanicas la cual mejoran el rendimiento químico de la resina fenólica.
  
- b) En la impregnación de la tela cardada se recomienda calentar la tela a una temperatura adecuada antes de la impregnación para que dilaten las fibras y al momento de ser sumergidas en la mezcla de resina/alcohol la impregnación sea lo más homogénea posible y el tiempo de secado sea reduzca.
  
- c) Se recomienda utilizar otras variedades de telas industriales que se encuentran en el mercado, tales como telas de fibra de Aramida, fibras de basalto y telas reforzadas con hilos de cobre.
  
- d) Se recomienda a seguir buscando nuevos procedimientos eficientes para seguir mejorando la industria ya que la utilización de resinas fenólicas en el Perú es muy variado y la aplicación de materiales de fricción muy solicitadas por diversos sectores (automovilísticos, industriales, ferroviarios y mineros)

## **IX.**

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

### **9.1. Referencia - textos**

**9.1.1. ALONSO RUBIO, María Virginia.** Formulación y curado de resinas Fenol-Formaldehido con sustitución parcial del fenol. **Tesis doctoral de Ing. Química. Madrid – España. Universidad Complutense de Madrid. 2002**

**9.1.2. ARBOLEDA, Orlando.** Aplicación de refuerzo de fibra de vidrio en la ingeniería. **Tesis para optar el grado de tecnólogo de materiales. Colombia. Universidad de Pereira. 2007**

**9.1.3. BOQUE, Ricard. MOROTO, Alicia.** El análisis de la varianza (ANOVA) comparación de múltiples poblaciones. **Grupo de quimiometría y cualimetría. Universidad de Virginia.**

**9.1.4. CASTILLO PINEDA, Ubaldo.** Caracterización de procesos de infusión de resina mediante visión artificial. **Tesis doctoral. Universidad CEU Cardenal Herrera. Valencia 2013**

**9.1.5. FALCO ROJAS, Arturo Ruiz.** Herramientas estadísticas comparación de muestras. **Universidad Pontificia Comillas. Madrid 2005**

**9.1.6. WEISSERMEL, Klaus.** Química Orgánica Industrial. España.  
Editorial Reverte S.A. 1981.

## **9.2. Referencias – revistas**

**9.2.1. BOROVIK, Adrian.** Clasificación, identificación y aplicaciones – manual de los no tejidos. **Asociación brasileña de industrias de tejidos técnicos.** 2005

**9.2.2. FONTANA, Marco GASTON, Bonet.** Estructuras de materiales compuestos – proceso de fabricación. **Facultad de ingeniería UNLP.**

**9.2.3. HELLERSTEIN, Jhonatan. BENDER, Joel.** Vidrio, cerámica y materiales afines, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.* Vol.III:1 a 15. Enero 2001

**9.2.4. GARCIA DIEZ, Sergio.** Fibras y materiales de refuerzo, *Revista Iberoamericana de polímeros.* Vol. 12: 268 a 280. Octubre 2001

**9.2.5. MARIN LIRA, Rigoberto.** Sistemas de tejidos especiales. **Universidad Nacional de ingeniería.** 2010

**9.2.6. P.K. Mallick.** Composites Engineering Handbook. **Universidad de Michigan.** 1997

**9.2.7. UNIVERSIDAD DE NAVARRA.** Materiales compuestos.  
**Disponible en:**

<http://www.tecnun.es/asignaturas/Matcomp/Transparencias/Cap11.pdf>. Consultado el 25 de Octubre de 2013.

X.

ANEXOS

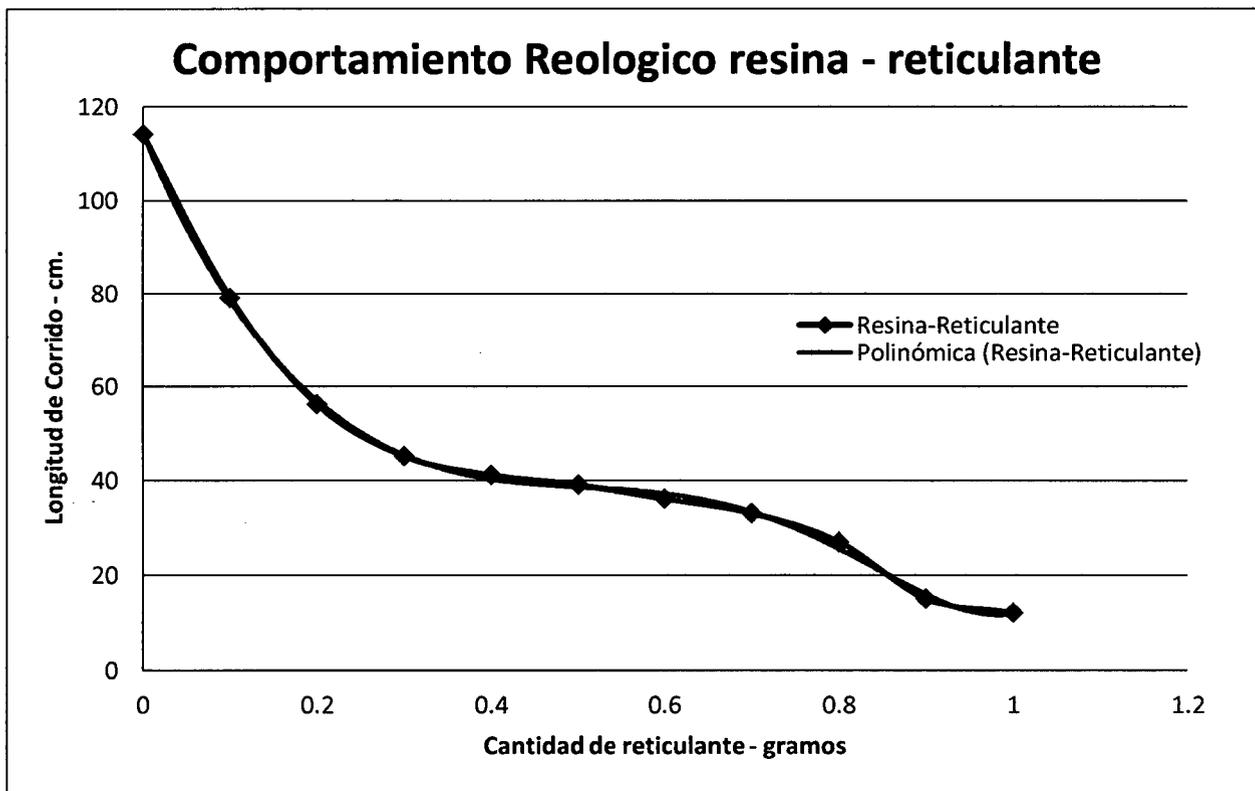
10.1. Cantidad de reticulante en la Resina fenólica

TABLA 10.1  
CANTIDAD DE RETICULANTE (HEXA) EN LA RESINA FENOLICA

RESINA (g)	HEXA (g)	CORRIDO (cm)
10,0	0,0	114
9,9	0,1	79
9,8	0,2	56
9,7	0,3	45
9,6	0,4	41
9,5	0,5	39
9,4	0,6	36
9,3	0,7	33
9,2	0,8	27
9,1	0,9	15
9,0	1,0	12

Fuente: Propia

GRAFICO 10.1  
COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE LA RESINA - RETICULANTE



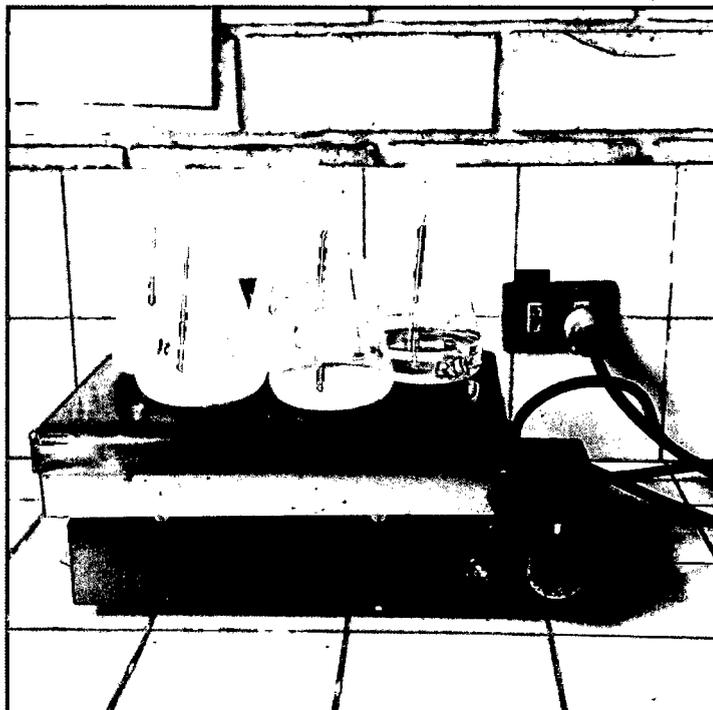
Fuente: Propia

**ELABORACION DE UN MATERIAL DE FRICCIÓN CON ALTA RESISTENCIA AL CORTE UTILIZANDO RESINA FENOL FORMALDEHIDO E IMPREGNADAS EN TELAS DE FIBRA DE VIDRIO**

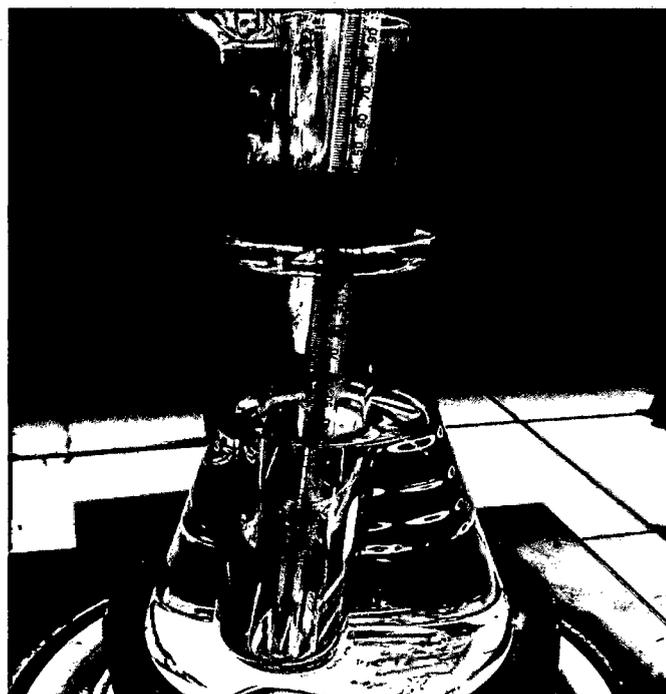
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODO</b>
¿Cuál debe ser el procedimiento óptimo para elaborar un material de fricción de alta resistencia al esfuerzo cortante?	Determinar el procedimiento óptimo del material de fricción resistente al esfuerzo cortante.	La obtención de un material de fricción de alta resistencia al corte dependerá de las características de la resina y de las condiciones óptimas del proceso, para lo cual el esfuerzo cortante en un área de $2,19 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ se encontrara entre los 110 – 138 MPa.	X= Resistencia al corte del material de fricción	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia al corte y al cizallamiento del material de fricción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Presión (MPa).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Corte y cizallamiento</li> </ul>
<b>SUB-PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICOS</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODO</b>
A) ¿Cuáles deben ser las características físico químicas de la resina fenol formaldehido elaborada para la obtención del material de fricción de alta resistencia al corte?	A) Determinar las características físicas químicas de la resina fenol formaldehido elaborada para la obtención del material de fricción de alta resistencia al corte.	A) Para elaborar un producto de fricción de alta resistencia al corte se deberá tener en cuenta las características físico químicas de la resina: contenido de hexametilentetramina, corrido de resina, tiempo de formación del ligante.	Y= Características físico químicas de la resina fenol formaldehido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Contenido de Hexa.</li> <li>✓ Corrido de la resina.</li> <li>✓ Formación de hilos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ %</li> <li>✓ Milímetros</li> <li>✓ minutos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Volumetría</li> <li>✓ Reactividad</li> <li>✓ Set time.</li> </ul>
B) ¿Cuáles deben ser las condiciones óptimas del proceso para obtener un producto de alta resistencia al corte?	B) Determinar las condiciones óptimas del proceso para la obtención de un producto de alta resistencia al corte.	B) Las condiciones óptimas para la obtención de un producto de alta resistencia al corte son: concentración de resina-alcohol 50/50, tipo secado=Aire caliente, t.prensado $\geq 150^\circ\text{C}$ , tiempo de impregnación 50 min.	Z= Las condiciones óptimas del proceso para la obtención de un material de fricción de alta resistencia al corte.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Concentración resina/alcohol</li> <li>✓ Tiempo secado</li> <li>✓ Impregnación de resina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ % resina</li> <li>✓ % volátiles</li> <li>✓ Horas</li> <li>✓ %Impregna do</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Extracto Acetonico</li> <li>✓ Análisis de volátiles</li> <li>✓ Termocupla</li> </ul>

**10.3. Caracterización de la resina fenol-formaldehido**

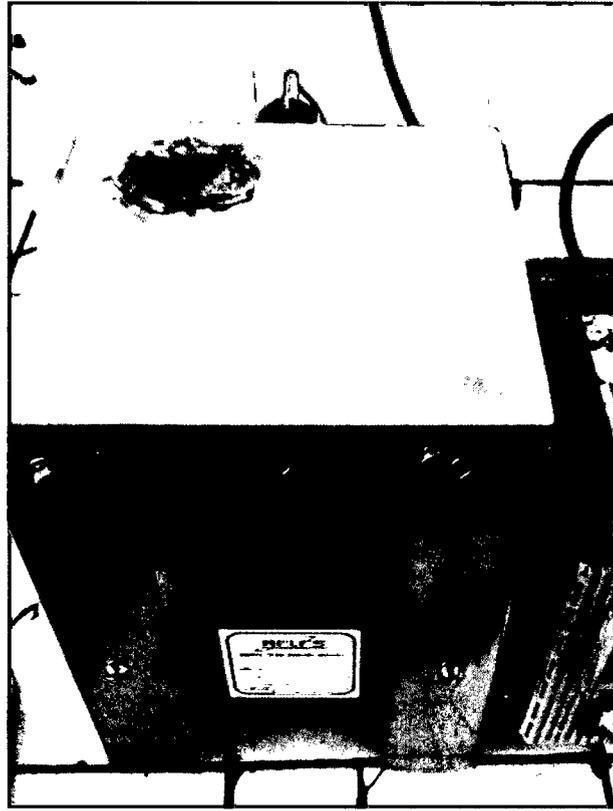
**FIGURA 10.1  
DETERMINACIÓN DEL RETICULANTE (HEXAMETILENTETRAMINA)**



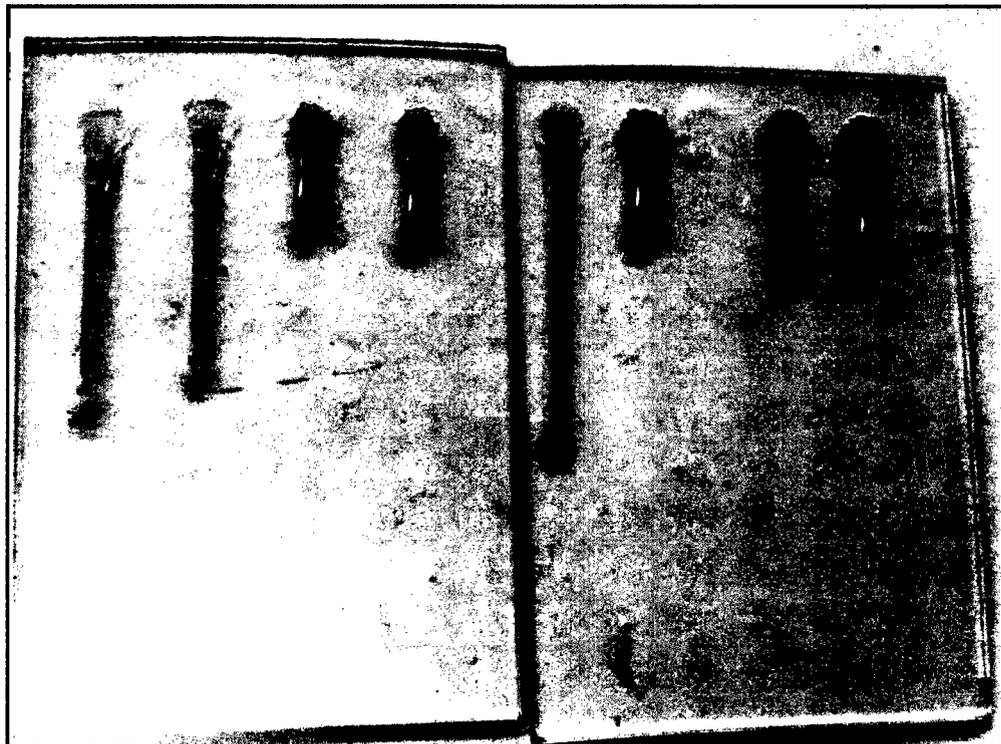
**FIGURA 10.2  
DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE FUSION (GRADO DE POLIMERIZACION)**



**FIGURA 10.3**  
**DETERMINACIÓN DEL SET TIME (FORMACIÓN DE LIGANTES)**



**FIGURA 10.4**  
**DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE CORRIDO DE LA RESINA**



10.4. Caracterización de la resina fenólica – alcohol

FIGURA 10.5  
RESINA FENOL FORMALDEHIDO (SOLIDO)

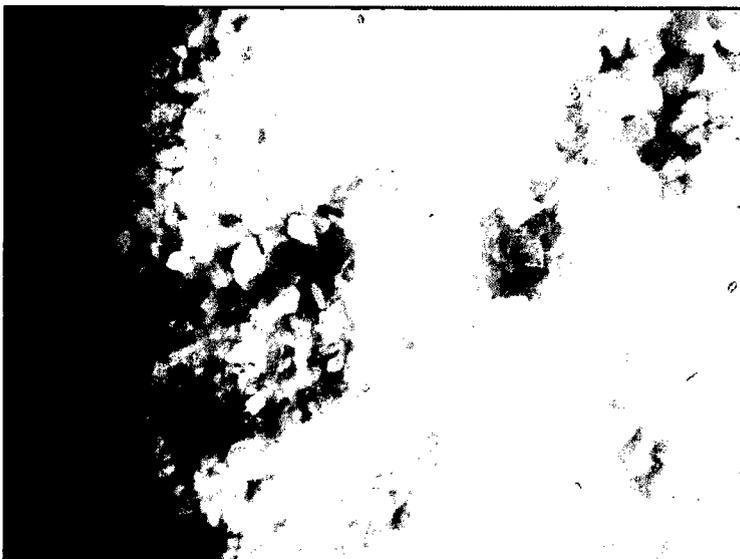
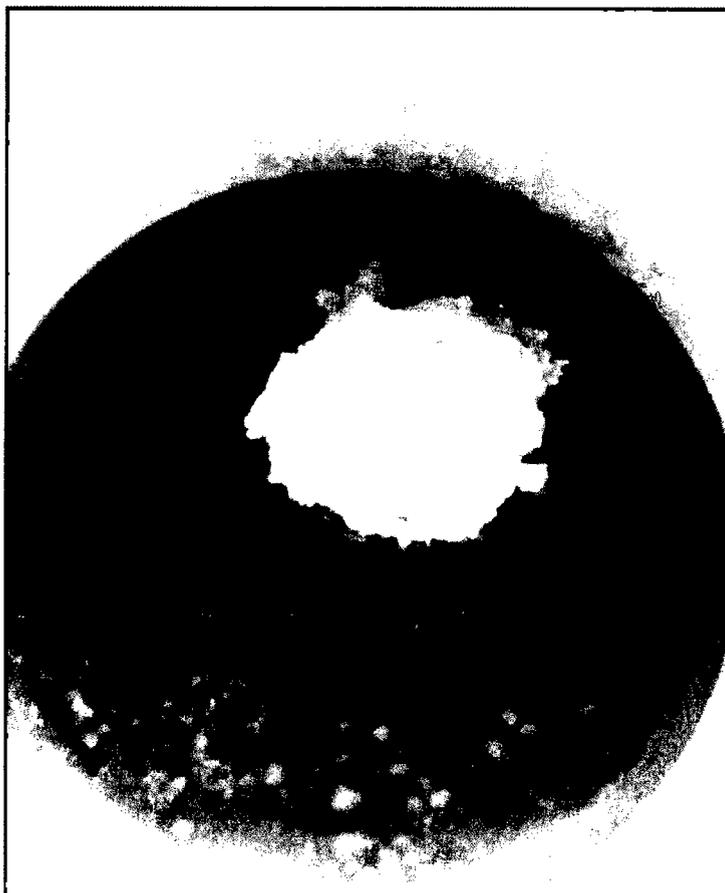
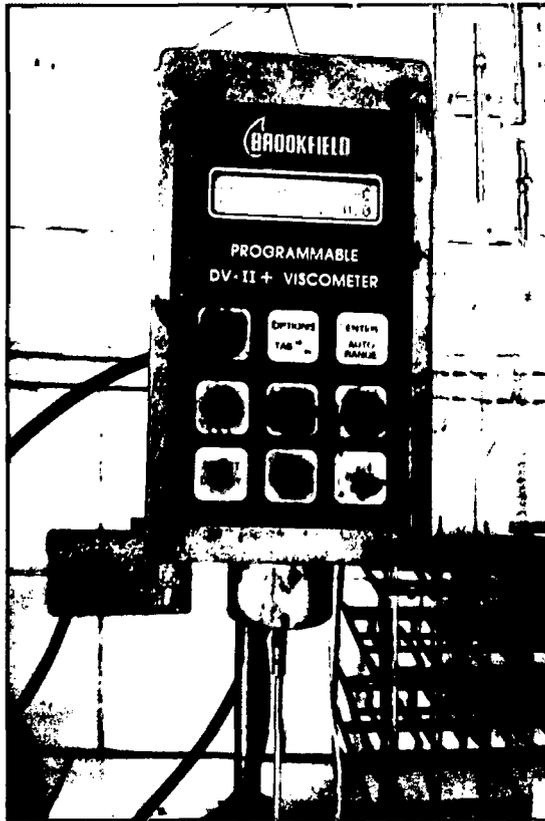


FIGURA 10.6  
MEZCLA RESINA – ALCOHOL



**FIGURA 10.7**  
**VISCOSIDAD - BROOKFIELD**



**FIGURA 10.8**  
**DENSIDAD - PICNOMETRO GARNER**



10.5. Pruebas de resistencia

FIGURA 10.9  
MATERIAL IMPREGNADO

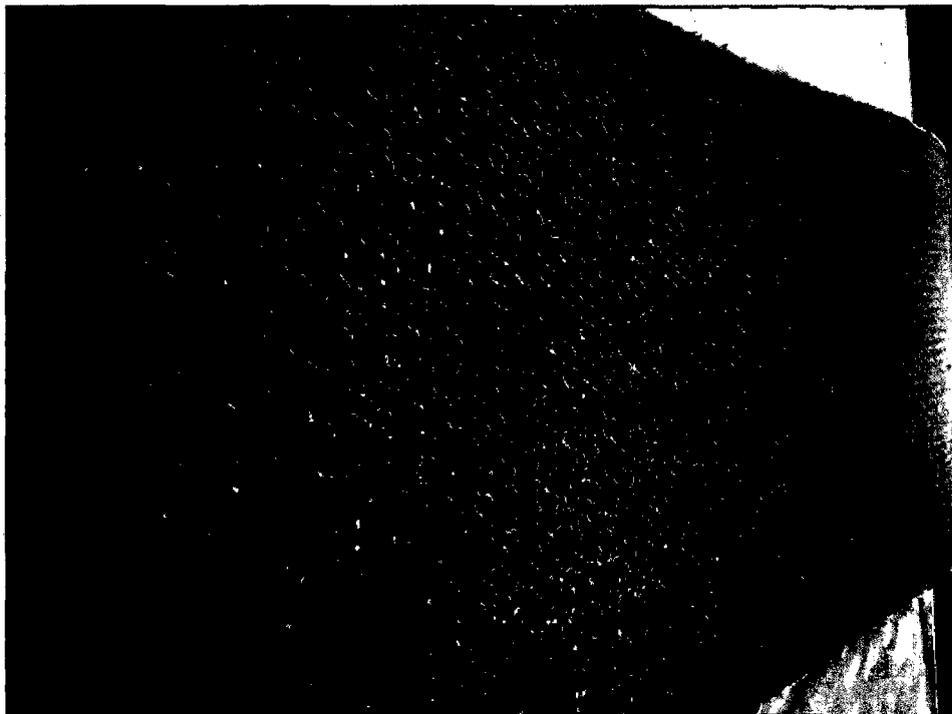
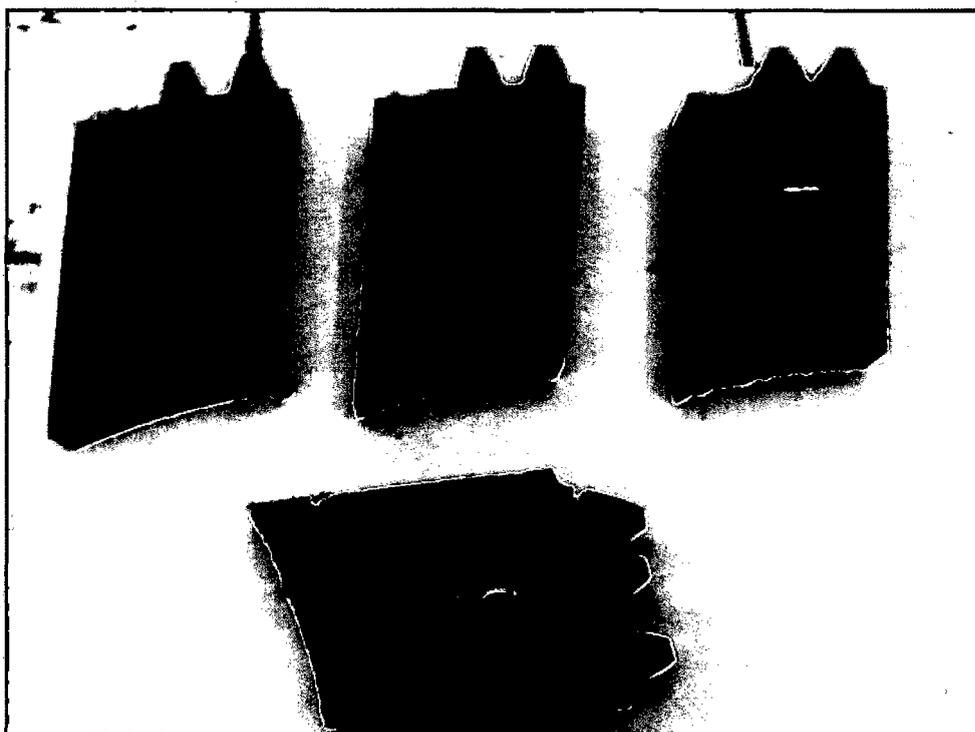


FIGURA 10.10  
PROBETA DE ENSAYO



LIBRO 2 FOLIO No.70 ACTA N° 253 DE SUSTENTACION DE TESIS SIN  
CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO

El día veinticuatro de Abril del Dos Mil Quince, siendo las.....12:00..... horas, se reunió el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Ing. PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO	: Presidente
Ing. CARMEN MABEL LUNA CHAVEZ	: Secretaria
Ing. CALIXTO IPANAQUE MAZA	:Vocal
Ing. JUAN TAUMATURGO MEDINA COLLANA	:ASESOR

con el fin de dar inicio al acto de sustentación de tesis del Señor Bachiller FLORES LIMA ARTEMIO, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, sustenta la tesis titulada "ELABORACIÓN DE UN MATERIAL DE FRICCIÓN CON ALTA RESISTENCIA AL CORTE UTILIZANDO RESINA FENOL-FORMALDEHIDO E IMPREGNADAS EN TELAS DE FIBRA DE VIDRIO".

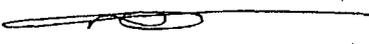
Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó: Dar por APROBADO con el calificativo MUY BUENO al expositor Señor Bachiller FLORES LIMA ARTEMIO.

Se dio por cerrada la Sesión a las.....13:30..... horas del día veinticuatro del mes y año en curso.

  
Ing. PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO  
Presidente

  
Ing. CARMEN MABEL LUNA CHAVEZ  
Secretaria

  
Ing. CALIXTO IPANAQUE MAZA  
Vocal

  
ING. JUAN TAUMATURGO MEDINA  
COLLANA  
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Recomendaciones de los Señores Miembros del Jurado de Sustentación al sustentante, para : realice las correcciones de la tesis antes de su aprobación.

SISTA : Bachiller FLORES LIMA ARTEMIO.

TULO DE LA TESIS: "ELABORACIÓN DE UN MATERIAL DE FRICCIÓN CON ALTA SISTEANCIA AL CORTE UTILIZANDO RESINA FENOL-FORMALDEHIDO E IMPREGNADAS TELAS DE FIBRA DE VIDRIO".

PRESIDENTE:

- Retirar el término " capítulo" de los títulos
- Colocar año a las fuentes.

- SECRETARIA:

- Mejorar redacción sobre todo del Capítulo " Discusión de resultados"

I. - VOCAL:

- Colocar palabras claves en ABSTRACT
- Incluir información presentada en diapositivas de sustentación

Ing. PABLO BELTZARIO DIAZ BRAVO  
Presidente

Ing. CARMEN MABEL LUNA CHAVEZ  
Secretaria

Ing. CALIXTO IYANAQUE MAZA  
Vocal

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

---

**PROVEIDO N°. 0659-2015-FIQ**

**ASUNTO: APROBACIÓN DE LAS OBSERVACIONES  
REALIZADA EN LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.**

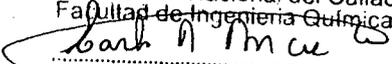
**REF.: DICTAMEN DEL PRESIDENTE DE JURADO  
DE SUSTENTACIÓN DE TESIS – INGENIERO  
MAGISTER PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO.**

**INGRESO: 2258**

**PASE AL SEÑOR BACHILLER FLORES LIMA  
ARTEMIO, PARA QUE CONTINUE CON EL  
TRÁMITE RESPECTIVO.**

**Bellavista, 14 de Mayo 2015.**

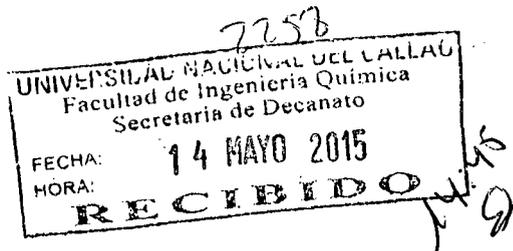
Universidad Nacional del Callao  
Facultad de Ingeniería Química

  
Ing. Dr. Carlos Alejandro Ancieta Dextre  
Decano

**Pily c.**

**cc. ARCHIVO.**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



DICTAMEN

DE : ING° PABLO DÍAZ BRAVO  
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

PARA : ING° CARLOS ANCIETA DEXTRE  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ASUNTO : DICTAMEN DE APROBACIÓN DE OBSERVACIÓN REALIZADA EN  
LA SUSTENTACIÓN

FECHA : Bellavista, MAYO 13 DE 2015

---

S.P.

Mediante el presente tengo a bien informarle, que habiendo realizado las correcciones de las observaciones hechas por el Jurado Evaluador en la sustentación de la tesis titulada **“ELABORACIÓN DE UN MATERIAL DE FRICCIÓN CON ALTA RESISTENCIA AL CORTE UTILIZANDO RESINA FENOL FORMALDEHÍDO E IMPREGNADA EN TELAS DE FIBRA DE VIDRIO”** presentado por el Señor **FLORES LIMA ARTEMIO**, se da la conformidad favorable para continuar con los trámites correspondientes.

Atentamente,



---

ING° PABLO DÍAZ BRAVO  
PRESIDENTE DEL JURADO  
DE TESIS

cc Archivo