



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

## **EVALUACIÓN DE DOS AGENTES COAGULANTES PARA LÁTEX NATURAL, EN LA FABRICACIÓN POR INMERSIÓN DE GUANTE TIPO DOMÉSTICO**

**Roberto Antonio Cahueque Acosta**

Asesorado por el Ing. Cesar Alfonso García Guerra

Guatemala, noviembre de 2008.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE DOS AGENTES COAGULANTES PARA LÁTEX  
NATURAL, EN LA FABRICACIÓN POR INMERSIÓN DE GUANTE  
TIPO DOMÉSTICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR:

**ROBERTO ANTONIO CAHUEQUE ACOSTA**

ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton de León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales G.
EXAMINADOR	Ing. Otto Raul de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Julio Alberto Rivera Palacios
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravatti Castro

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE DOS AGENTES COAGULANTES PARA LÁTEX  
NATURAL, EN LA FABRICACIÓN POR INMERSIÓN DE GUANTE  
TIPO DOMÉSTICO**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, en agosto de 2008.

  
Roberto Antonio Cahueque Acosta.

Guatemala, 22 de Agosto del 2008

Ingeniero  
Williams Guillermo Alvarez Mejia  
Director Escuela de Ingeniería Química  
USAC

Estimado Ing. Alvarez:

Atentamente me dirijo a usted, para informarle que he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado:

**Evaluación de dos agentes coagulantes para látex natural, en la fabricación para inmersión de guante tipo doméstico.**

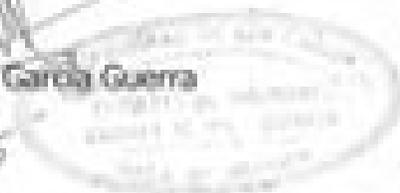
El cual fue presentado por el estudiante universitario ROBERTO ANTONIO CAHUEQUE ACOSTA, quien se identifica con el número de carnet 83-17533.

Considero que el trabajo fue realizado de forma muy completa y que se cumplieron a cabalidad los objetivos propuestos, por lo cual lo doy por aprobado.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano su fina atención a la presente, me suscribo de Ud.

Atentamente,

  
Ing. Cesar Alfonso Garcia Guerra  
Asesor  
Colegiado No. 115





Guatemala, 03 de Noviembre de 2008  
Ref. EQ 325 2008

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presenta.

Estimado Ingeniero Álvarez:

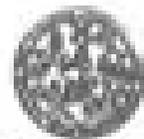
Como consta en el Acta TG-095-08-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario ROBERTO ANTONIO CAHUEQUE ACOSTA, identificado con carné No. 1983-17533, titulado: "EVALUACIÓN DE DOS AGENTES COAGULANTES PARA LÁTEX NATURAL, EN LA FABRICACIÓN POR INMERSIÓN DE GUANTE TIPO DOMÉSTICO, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico César Alfonso García, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final satisfactorio, se procede a recomendarle autorice al estudiante Cahueque Acosta proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"D Y ENSEÑAR A TODOS"



Inga Tereza Lizeth de León Arana, M.Sc.  
COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERÍA QUÍMICA

C.c: archivo



El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. William Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación del estudiante Roberto Antonio Cabueque Acosta título: "EVALUACIÓN DE DOS AGENTES COAGULANTES PARA LÁTEX NATURAL, EN LA FABRICACIÓN POR INMERSIÓN DE GUANTE TIPO DOMÉSTICO", procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

  
Ing. William Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc.  
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, noviembre de 2008

Cc: archivo



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE DOS AGENTES COAGULANTES PARA LÁTEX NATURAL, EN LA FABRICACIÓN POR INMERSIÓN DE GUANTE TIPO DOMÉSTICO**, presentado por el estudiante universitario Roberto Antonio Cahueque Acosta, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2008

## **AGRADECIMIENTOS:**

A mis padres.

**ACTO QUE DEDICO:**

A mi familia.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX

## 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Látex.....	1
1.2 Estabilidad.....	2
1.3 Coagulación.....	3
1.4 Coagulante de contacto .....	4
1.5 Formación de película.....	4
1.6 Guante doméstico de hule natural.....	5

## 2. GENERALIDADES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL GUANTE DE HULE NATURAL TIPO DOMÉSTICO, POR EL PROCESO DE INMERSIÓN EN COAGULANTE

2.1 Formulación de coagulante.....	8
2.1.1 Materias primas.....	9
2.1.2 Parámetros a considerar para formular.....	10

2.1.3	Fórmula utilizada.....	10
2.2	Formulación de látex.....	11
2.2.1	Materias primas.....	12
2.2.2	Parámetros a considerar para formular.....	13
2.2.3	Fórmula utilizada.....	15
2.3	Proceso de producción por inmersiones. . . . .	16
2.3.1	Hormas.....	19
2.3.2	Tanques de inmersión.....	19
2.3.3	Consideraciones importantes durante las inmersiones.....	22
2.3.4	Horno.....	23
2.3.5	Guantes, especificaciones y generalidades.....	25

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

3.1	Parámetros específicos del proceso de inmersión utilizados.....	27
3.2	Equipo utilizado.....	29
3.3	Reactivos y materias primas utilizados . . . . .	30
3.4	Métodos de análisis.....	31
3.4.1	Medición de pH.....	32
3.4.2	Prueba de cloroformo.....	32
3.4.3	Porcentaje de sólidos totales.....	34
3.4.4	Gravedad específica.....	34
3.4.5	Titulación de ácido acético.....	35
3.5	Descripción del experimento y toma de datos.....	36

#### **4. RESULTADOS**

4.1 Tablas de datos.....	43
4.2 Análisis de varianza.....	48
4.3 Gráficos de resultados .....	70
4.4 Discusión de resultados .....	78
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>91</b>



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Diagrama de recorrido del proceso de inmersión de látex natural...18
2. Esquema de Tanque de inmersión.....20
3. Detalle frontal de deflector ajustable.....21
4. Reacción de vulcanización.....24
5. Comparación de resultados en prueba de cloroformo.....33
6. Comparación de agentes coagulantes con 15% de concentración...52
7. Comparación de agentes coagulantes con 20% de concentración...55
8. Comparación de agentes coagulantes con 25% de concentración...58
9. Comparación de agentes coagulantes con 30% de concentración...61
10. Comparación de agentes coagulantes con 35% de concentración...64
11. Comparación de agentes coagulantes con 40% de concentración...67
12. Gráfica de espesor de película del guante en función de la concentración de nitrato de calcio en agua aplicado al látex formulado con cloformo 1.08 y ph 10.81.....70
13. Gráfica de espesor de película del guante en función de la concentración de nitrato de calcio en etanol aplicado al látex formulado con cloroformo 1.42 y ph 10.83.....71
14. Gráfica de espesor de película del guante en función de la concentración de ácido acético en agua aplicado al látex formulado con cloroformo 1.00 y ph 10.93.....72

15. Gráfica de comparación del logaritmo $\Delta F$ para cada una de las concentraciones de los tratamientos estudiados y que rinden diferencia significativa .....	73
16. Gráfica de respuesta del espesor de película en función de las concentraciones de las tres soluciones coagulantes utilizadas.....	74
17. Gráfica de concentración de nitrato de calcio en agua en función de la gravedad específica.....	75
18. Gráfica de concentración de nitrato de calcio en etanol en función de la gravedad específica.....	76
19. Gráfica de concentración de ácido acético en agua en función de la gravedad específica.....	77

## TABLAS

I.	Diseño general del experimento.....	37
II.	Nomenclatura de tratamientos del experimento.....	40
III.	Datos de látex formulado.....	43
IV.	Datos de concentración de coagulante formulado de nitrato de calcio..	44
V.	Datos de concentración de coagulante formulado de ácido acético.....	45
VI.	Datos de concentración y gravedad específica de soluciones coagulantes.....	46
VII.	Datos de resultados de calibre de guante terminado.....	47
VIII.	Variables para el diseño unifactorial en un solo sentido.....	48
IX.	Análisis de varianza para el diseño unifactorial en un solo sentido.....	50
X.	Datos para aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 15%.....	53
XI.	Resumen de análisis anova de la concentración del 15%.....	54
XII.	Análisis anova de la concentración del 15%.....	54
XIII.	Datos para aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 20%.....	56
XIV.	Resumen de análisis anova de la concentración del 20%.....	57
XV.	Análisis anova de la concentración del 20%.....	57
XVI.	Datos para aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 25%.....	59
XVII.	Resumen de análisis anova de la concentración del 25%.....	60
XVIII.	Análisis anova de la concentración del 25%.....	60
XIX.	Datos para la aplicación de análisis de varianza a las	

soluciones con agentes coagulantes al 30%.....	62
XX. Resumen de análisis anova de la concentración del 30%.....	63
XXI. Análisis anova de la concentración del 30%.....	63
XXII. Datos para la aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 35%.....	65
XXIII. Resumen de análisis anova de la concentración del 35%.....	66
XXIV. Análisis anova de la concentración del 35%.....	66
XXV. Datos para la aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 40%.....	68
XXVI. Resumen de análisis anova de la concentración del 40%.....	69
XXVII. Análisis anova de la concentración del 40%.....	69

## **GLOSARIO**

**Acelerador** Sustancia química que acelera o cataliza el proceso de vulcanización.

**Agentes anti-membrana** Sustancia química que actúa sobre la superficie del látex formulado o del coagulante, evitando la formación de membrana entre dedos durante el proceso de salida de la horma en el proceso de inmersión.

**ANOVA** Es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados. El análisis de varianza sirve para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos.

<b>Antiespumante</b>	Sustancia química que previene la formación de burbujas o espuma en el látex formulado o el coagulante
<b>Antioxidantes</b>	Sustancia química que evita el proceso de oxidación, mejorando el envejecimiento del producto final.
<b>Antiozonantes</b>	Sustancia química que protege del ataque de ozono, mejorando el envejecimiento del producto final.
<b>Carga</b>	Sustancia química que se utiliza para incrementar los sólidos en el látex formulado, reduce el costo, mejora la fluidez, reduce la adherencia. Las sustancias normalmente usadas como cargas son talcos y arcillas.
<b>Coagulación</b>	Proceso por el cual el látex es desestabilizado y se provoca una agregación o aglomeración de la fase dispersa, separándose del medio de dispersión.

<b>Coagulante</b>	Sustancia química que agregada al sistema coloidal al entrar en contacto con el mismo provoca su coagulación.
<b>Cremado</b>	Es el proceso de concentración del polímero en el látex natural por medio de aditivos químicos que promueven la separación de la fase dispersa del medio de dispersión en un lapso de tiempo, posteriormente se separan por decantación.
<b>Desmoldar</b>	Acción de separar el guante de hule natural ya formado de la horma utilizada para su producción.
<b>Dispersante</b>	Un dispersante es un aditivo que se utiliza para lograr que un soluto tenga distribución y dispersión en un solvente.
<b>Estabilizante</b>	Sustancia que agregada al sistema coloidal (látex) da resistencia para evitar su coagulación.
<b>Hidrofílico</b>	Sustancia que por sus propiedades es compatible con el agua.

<b>Hidrofóbico</b>	Sustancia que por sus propiedades es incompatible con el agua.
<b>Horma</b>	Molde con que se fabrica o forma algo.
<b>Látex Natural</b>	Es el producto de una sangría efectuada en el árbol de caucho (Hevea-brasiliensis), posteriormente concentrado por los métodos de centrifugado, cremado, evaporación.
<b>phr</b>	Esta abreviatura es bien conocida en el medio de formulación de hule, proviene de las siglas en inglés per hundred parts of rubber, que significa por cada cien partes de hule seco.
<b>Prevulcanizado</b>	Proceso mediante el cual con un calentamiento controlado del látex formulado se logra un avance del proceso de vulcanización, para posteriormente proceder al proceso de coagulación.
<b>Prueba de Cloroformo</b>	Análisis enfocado a verificar el grado de avance del proceso de vulcanizado en el látex formulado.

<b>Surfactante</b>	Sustancia que reduce la tensión superficial de un líquido, y que sirve como agente humectante o detergente.
<b>Vulcanizante</b>	Sustancia química que participa en los enlaces de la reacción de vulcanización.
<b>Vulcanización</b>	La vulcanización es un proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al calor.



## RESUMEN

El presente trabajo de graduación tuvo como finalidad realizar una evaluación de tres soluciones coagulantes recomendadas para la formación de película de látex natural en el proceso de producción de guantes tipo domestico por inmersión de moldes. Las soluciones coagulantes a comparar son: nitrato de calcio en solución acuosa, nitrato de calcio en solución alcohólica y ácido acético en solución acuosa.

Con este trabajo se obtuvo un marco de comparación de tiempos de inmersión y producción, requeridos para la obtención de diferentes espesores de película de hule natural durante el proceso de producción de guante doméstico por proceso de inmersión. Con base en lo anterior, contar con información que permita visualizar el comportamiento de las tres soluciones coagulantes en el momento de la toma de la decisión.

La comparación se realiza con un proceso estándar experimental a nivel laboratorio sobre la base de la medición de espesor de película del producto terminado.

Así mismo se establecieron las ecuaciones de comportamiento de la gravedad específica en función de la concentración del agente coagulante en cada una de las soluciones evaluadas.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Realizar una comparación entre las tres soluciones coagulantes escogidas (nitrato de calcio en solución acuosa, nitrato de calcio en solución alcohólica y ácido acético en solución acuosa), utilizadas en el proceso de fabricación de guante de látex natural tipo doméstico.

### **ESPECÍFICOS**

1. Determinar la relación del comportamiento del espesor del guante en función de la concentración de tres soluciones coagulantes.
2. Correlacionar la gravedad específica en función de la concentración de agente coagulante para cada uno de los agentes estudiados.
3. Elaborar un documento monográfico que proporcione aspectos teóricos-prácticos del proceso de producción de guantes de látex natural tipo doméstico.

## **HIPÓTESIS**

Es posible realizar una evaluación entre diferentes concentraciones porcentuales de tres coagulantes seleccionados y que determinen variaciones en el espesor de película de hule natural obtenida en la manufactura de guantes.

## INTRODUCCIÓN

El hule natural es un producto agrícola procedente del árbol de caucho (*Hevea-brasiliensis*), en Guatemala actualmente se encuentran sembradas aproximadamente 60,700 hectáreas con más de 21 millones de árboles, de los cuales el 44% se encuentra en fase de producción y 56% en fase de crecimiento, mismo que darán un crecimiento del 10% de la producción anual en los próximos 8 años. Además, se han identificado 90,000 hectáreas en condiciones óptimas para este cultivo, proyectándose un crecimiento en este sector.

El volumen total de producción de hule natural en Guatemala es de 50,000 toneladas por año, de este total de producción se exporta el 90% a países que lo procesan como materia prima para los procesos productivos de diferentes artículos. Únicamente el 10% de la producción total es utilizada por la industria guatemalteca.

Basado en los datos anteriormente expuestos, la presente investigación aporta información que permite a la industria contar con bases de datos en una de las aplicaciones del látex natural como materia prima para la producción de guante tipo doméstico. Información consistente en la evaluación de las soluciones coagulantes, su comportamiento y efectividad para la formación de película en el proceso de producción por inmersión.

Las condiciones seleccionadas para ser aplicadas en el proceso de inmersión se dejaron constantes, para evaluar solamente una variable de cambio, la solución coagulante y su concentración.

Siendo Guatemala un país con una industria agrícola fuerte, es importante efectuar investigaciones y estudios que brinden a la industria nacional un paso más en el proceso de producción de artículos. Cada paso más en este proceso permite un nuevo foco de inversión, un valor agregado a nuestros artículos y la creación de fuentes de empleo.

# 1. MARCO TEÓRICO

Para definir el marco del proceso se mencionan algunos conceptos técnicos que tienen relación con el tema tratado. Principalmente veremos a continuación algunas características y algunos principios utilizados para el proceso de fabricación del guante por el método de inmersión de hormas y utilización de coagulantes para la formación de película de látex. Se definirán los términos de una manera general y enfocándolos directamente al tema tratado en el presente trabajo.

## 1.1 Látex

La palabra látex es usada comúnmente para describir una dispersión coloidal de una sustancia polimérica en un medio acuoso. Sin embargo en años recientes también se utiliza aunque el medio no sea necesariamente acuoso. Al referirse a látex natural, se entiende que es el producto de una sangría efectuada en el árbol de caucho (*Hevea-brasiliensis*), posteriormente concentrado por los métodos de centrifugado, cremado, evaporación, etc. El látex utilizado para el experimento es cremado, con las siguientes características:

Sólidos totales:	62.5% a 63.5%
pH:	10.5 a 11.5
Alcalinidad:	0.45 a 0.55
Estabilidad mecánica	6 a 12 minutos.

Podemos decir que el látex en general se compone de dos fases que se pueden nombrar medio de dispersión y fase dispersa. El medio de dispersión en el caso del látex natural es el agua y la fase dispersa esta compuesta principalmente de cis-1,4-poliisopreno (caucho natural).

## **1.2 Estabilidad**

Para este término se podría hacer un trabajo completo investigando su concepto o todos los factores que lo afectan, sin embargo vamos a definirlo y tocar algunos puntos de relevancia para el trabajo elaborado. El término estabilidad lo enmarcamos dentro de la estabilidad coloidal del látex, que se define como la tendencia del sistema coloidal (látex) a mantenerse sin separación mientras transcurre el tiempo. Existen diferentes causas para atacar dicha estabilidad, como por ejemplo, atracción entre las partículas del polímero, niveles energéticos dentro de la dispersión coloidal, fuerzas electrostáticas, equilibrio químico de la dispersión, concentración de la mezcla. Respecto a este término podemos hacer mención de lo opuesto que es la desestabilización del látex, que es lo que vamos a utilizar para formar la película de hule sobre la horma para obtener el guante.

Los métodos de desestabilizar el látex son de dos tipos, físicos y químicos. Dentro de los métodos físicos podemos enumerar como principales los siguientes: remoción del medio de dispersión, calentamiento, enfriamiento (congelamiento), agitación mecánica. Los agentes químicos se pueden catalogar en los siguientes grupos: coagulante de contacto o directo, coagulante de sensibilización térmica y coagulante de acción retardada.

En el presente trabajo nos enfocamos sobre la desestabilización del látex por agentes químicos, específicamente de los coagulantes de contacto o directos.

### **1.3 Coagulación**

Este término es utilizado generalmente para definir el proceso en el que un látex es desestabilizado coloidalmente de tal manera que sucede una agregación o unión de las partículas de la fase dispersa, separándose del medio de dispersión. La inmovilización de las partículas de la fase dispersa ocurre primero, quedando el medio de dispersión inicialmente atrapado entre dichas partículas del polímero, el medio de dispersión será removido posteriormente por el horno en sus zonas de secado.

## **1.4 Coagulante de contacto**

Para el análisis se considera la coagulación por agentes químicos, utilizando coagulante de contacto o directo. Los coagulantes de contacto son los siguientes: sustancias ácidas, electrolitos solubles en agua (especialmente de sales de dos o tres cationes), líquidos orgánicos hidrofóbicos, líquidos orgánicos hidrofílicos, surfactantes catiónicos y polímeros hidrofílicos.

La comparación que se realizó experimentalmente involucró sustancias ácidas en el caso del ácido acético y electrolitos solubles en agua, como el caso del nitrato de calcio. En el caso del nitrato de calcio, se tomó solución acuosa, ya que es la utilizada actualmente por varias empresas de producción de guante y se trabajó al mismo tiempo con una solución alcohólica que es ampliamente recomendada.

## **1.5 Formación de película**

Para la fabricación del guante, es necesario formar de manera controlada una película uniforme del polímero sobre la horma, lo cual es posible si se tiene una película uniforme del coagulante directo sobre la misma horma.

El primer paso para el proceso de fabricación es contar con una horma adecuada en óptimas condiciones de acabado y de limpieza, para posteriormente depositar una película uniforme sin defectos de coagulante de contacto.

Teniendo la película adecuada de coagulante se procede a la inmersión de la horma en el látex formulado para lograr depositar la película de polímero buscada. En el presente caso lo que se busca es una película uniforme y sin defectos de hule natural para obtener un guante de tipo doméstico.

#### **1.6 Guante doméstico de hule natural**

Se cataloga como guante doméstico de hule natural al producto que cumpla con las siguientes especificaciones generales:

Apariencia: Guante de hule natural de diferentes colores.

Largo: entre 29 y 32 centímetros.

Calibre: 0.35 mm a 0.46 mm.



## **2. GENERALIDADES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL GUANTE DE HULE NATURAL TIPO DOMÉSTICO POR EL PROCESO DE INMERSIÓN EN COAGULANTE**

Para entender la forma en que se realizó el experimento y el proceso de producción base, dentro del cual se enmarca la comparación, se describe de una forma general y sin entrar en detalles profundos algunas características, puntos críticos y bases de lo que es el proceso de producción del guante de hule natural tipo doméstico por el proceso de inmersión en coagulante.

Este proceso inicia desde escoger la formulación adecuada y escoger los pasos de inmersión que generen el producto deseado. El proceso de inmersión en coagulante, consiste en sumergir una horma en una solución coagulante, para dejar una película de la misma sobre la horma, procediendo a hacer una inmersión en la formulación de látex, depositándose una película del mismo debido a la desestabilización ocasionada por el coagulante sobre el látex.

## **2.1 Formulación de coagulante**

Para la producción de guantes utilizando el método de inmersión en coagulante es importante hacer mención de todo lo relacionado con el mismo, ya que el proceso consta de dos pasos básicos y fundamentales, la inmersión en coagulante y la inmersión en látex. Los dos son altamente importantes. Hay que tener los parámetros generales y de proceso para hacer una selección adecuada del coagulante a utilizar y su fórmula.

Primero es importante decidir el tipo de coagulante que se utiliza, para lo cual se da información en el presente trabajo de investigación. Hay múltiples y de diferentes tipos como se ha descrito anteriormente. Para tomar dicha decisión, hay que tomar en cuenta los calibres que se desean alcanzar y los tratamientos posteriores que se le dará al producto terminado, así como las condiciones de trabajo que se tenga. Tomada la decisión anterior es importante escoger el medio y la fórmula a utilizar. Por ejemplo, una evaluación de propiedades del medio, haciendo una comparación entre agua y alcohol: diferentes tensiones superficiales, riesgos (incendios, intoxicación, etc.), solubilidad del producto, etc.

Teniendo la base del coagulante a utilizar y el medio en el cual se disolverá, se procede a buscar los aditivos que se agregarán a la fórmula para obtener las mejores propiedades de la misma. El formato en el que se presentan estas fórmulas es en porcentajes en peso.

Durante el proceso de producción del coagulante es importante tomar en cuenta algunos de los siguientes puntos: producirlo no inmediatamente para usar, (esto permite liberar aire atrapado), agitarlo suficiente para garantizar una adecuada mezcla o solución de los productos, usar métodos de filtrado para eliminar contaminantes.

### **2.1.1 Materias primas**

Básicamente cuando se conoce el coagulante y el medio que se utiliza lo que se necesita es escoger los aditivos a utilizar, dentro de los cuales se tienen: plastificantes (ayudan a formar una buena película), tensoactivos (mejoran la formación de película), dispersantes (mejoran la cantidad de carga), antiespumantes (evitan membranas y burbujas) y otros. Cada uno será agregado según las condiciones de operación y temperaturas utilizadas en el tanque de inmersión. Al mismo tiempo es usual que estos mismos se agreguen según se necesiten al tanque mismo durante el proceso, afectando la fórmula inicial, pero también corrigiendo problemas encontrados durante el proceso.

Dentro de las materias primas que se utilizan es necesario conocer grados de pureza, cantidades recomendadas, limitaciones de uso según normas existentes, contaminantes, métodos de análisis, riesgos y generalidades.

### **2.1.2 Parámetros a considerar para formular**

Para la formulación es importante ver la concentración del coagulante a utilizar y el medio en que este se encuentra. Lo anterior es para definir los calibres de guante que se pueden obtener o el número de inmersiones que se necesiten. Por otra parte todo el coagulante en exceso es un contaminante en el producto final. Según la concentración de coagulante y el vehículo dependerán las propiedades de la solución coagulante que se requieren de diferentes cantidades y/o materias primas para llevarlas a los valores óptimos de trabajo.

### **2.1.3 Fórmula utilizada**

Esta parte es la que se varía para obtener los resultados y las conclusiones del presente trabajo de investigación. Las fórmulas que se utilizan son: agua, nitrato de calcio en etanol y ácido acético en agua. La variación en los tres casos son: 15%, 20%, 25%, 30%, 35% y 40% de agente coagulante para cada uno de los casos de estudio.

## 2.2 Formulación del látex

La base de todo proceso de producción es contar con el material adecuado. Normalmente en la industria del guante, cada una de las fábricas cuenta con un departamento de formulación y mezclas que prepara el látex, agregándole según el producto final, el equipo y el proceso a utilizar, diferentes materias primas para obtener la fórmula que mejor resultados proporcione.

Sobre la base de lo anterior se procederá a revisar diferentes tópicos que se involucran para la formulación del látex.

El formato que se usa generalmente para presentar una formulación es tomando como base la cantidad de hule seco presente en el látex a utilizar, de esto nace el término de phr (en inglés: per hundred parts of rubber) que significa por cien partes de hule seco. La razón de esto es que el látex puede contener diferentes cantidades de agua en la suspensión coloidal, y los compuestos van a reaccionar o interactuar únicamente con la cantidad de hule seco presente dentro del proceso de fabricación del guante, con esto se elimina la interferencia del agua y otros sólidos en los cálculos de la fórmula. Posteriormente se hace lo mismo con las dispersiones utilizadas, usando el peso seco para los cálculos de las cantidades y posteriormente convirtiéndolas con los porcentajes de sólidos en los pesos húmedos totales a agregar.

### **2.2.1 Materias primas**

Las materias primas que se utilizan dentro de la formulación del látex se pueden dividir en grupos según las funciones que desarrollan. La clasificación de los grupos se puede hacer de la siguiente manera: látex, estabilizantes, vulcanizantes, aceleradores, protectores (antioxidantes y antiozonantes), cargas, pigmentos, agentes antimembrana, antiespumantes, bactericidas, viscosantes y misceláneos (estos los nombramos como materias que cumplen otras funciones que a veces se necesitan para fórmulas especiales usadas para algunos procesos y/o productos específicos).

De las materias primas que se utilizan en esta investigación es necesario conocer sus grados de pureza, cantidades recomendadas, limitaciones de uso según normas de los mercados de venta, contaminantes (principalmente que afecten el látex), métodos de análisis, riesgos y generalidades.

Todas las materias primas son generalmente preparadas en soluciones y/o dispersiones acuosas para ser agregadas durante la formulación. La razón principal es controlar las propiedades de las materias primas, como por ejemplo: tamaño de partícula, miscibilidad (mejor incorporación dentro del coloide del látex), y pH, principalmente.

Las dispersiones se fabrican a partir de las materias primas sólidas. Para su fabricación se prepara sobre la base de una fórmula porcentual, utilizándose normalmente dentro del proceso agua amoniacal para obtener un pH alcalino, uno o dos dispersantes para ayudar a mantener los sólidos en suspensión, agua y el químico o agente activo.

Estos productos se agregan a un molino de bolas o una batidora de bolas y se procede a la molienda hasta obtener una dispersión uniforme con el tamaño de partícula deseado.

Las materias primas líquidas normalmente se disuelven en agua por medio de agitación o en caso de no ser solubles, se someten a agitaciones fuertes para obtener mezclas o emulsiones antes de agregarse. Normalmente también se ajusta el pH.

Es importante tener los parámetros y métodos de análisis, ya que todos los productos intermedios son importantes para obtener un buen guante.

### **2.2.2 Parámetros a considerar para formular**

Los parámetros a considerar para formular son en grandes rasgos: el guante que se desea obtener, el proceso que se utilizará para su producción y las condiciones del equipo que se tiene y/o obtendrá para llevar a cabo la fabricación.

El guante que se desea obtener se deben de definir las propiedades según las exposiciones a medios químicos y físicos en que se utilizará. Estos se establecen según la orientación de trabajo que se le da al guante así como el mercado objetivo que se busca atacar y para lo cual se recomendará el guante fabricado.

En el caso del guante, el método a utilizar es el de inmersión en coagulante de una horma y su posterior inmersión en la formulación de látex. Sin embargo, los procesos varían en cantidad de inmersiones para alcanzar el calibre (puede ser solamente una o varias según se defina el proceso), varían en las temperaturas de los tanques de inmersión y tiempos que se utilizan en los mismos.

El equipo tiene parte de intervención ya que este dará los tiempos entre cada uno de los pasos, así como las velocidades de inmersión y de salida de los tanques. Define también las temperaturas que se pueden alcanzar, en caso se necesite calentar cierto producto durante los pasos, o en caso contrario si es necesario enfriar productos.

De todo lo mencionado anteriormente se definen las cantidades de materias primas que se agregan al látex para obtener la formulación óptima para el guante, proceso y equipo a utilizar en la fabricación.

### 2.2.3 Fórmula utilizada

A continuación se muestra la fórmula que se utiliza durante el experimento, la cual corresponde a una fórmula típica de látex para producción de guante de hule natural tipo doméstico.

PRODUCTO	%SÓLIDOS	PHR	PARTES HÚMEDAS
Látex natural	63.00	100.00	159.00
Estabilizante 1	16.67	0.76	4.56
Estabilizante 2	59.00	0.50	0.85
Vulcanizante 1	50.00	1.25	2.50
Vulcanizante 2	47.37	0.95	2.01
Acelerador 1	48.90	0.75	1.53
Acelerador 2	48.26	0.25	0.52
Antioxidante	51.30	2.00	3.90
Carga	45.20	10.00	22.12
Agua	0.00	0.00	36.00

### **2.3 Proceso de producción por inmersiones**

El método de producción que se utiliza para la producción de guantes de hule natural tipo doméstico, es de inmersión. Este método consiste en sumergir una horma del guante dentro de una solución coagulante y posteriormente sumergirlo en una formulación de látex para formar la película de la fórmula sobre la horma.

Dentro de este proceso existen algunas variantes que se describen de una manera general orientándolas al proceso utilizado para guante de tipo doméstico.

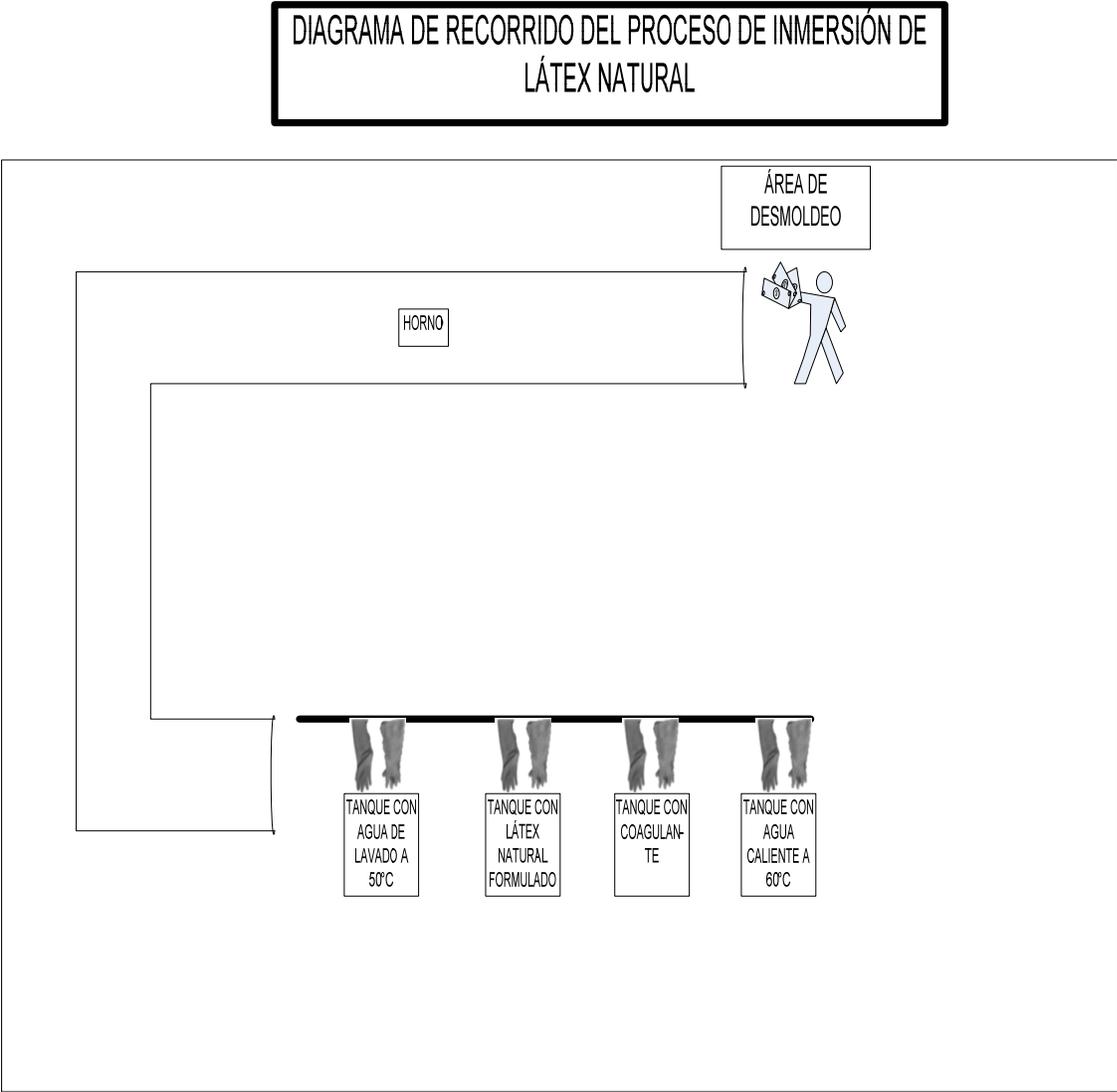
Una descripción general del proceso es como sigue (Ver Figura 1): lavado de la horma, esto se hace en línea con productos que mantengan las hormas libres de contaminantes que puedan interferir en la calidad del guante (sin embargo, las hormas también se someten a lavados fuera de línea por la deposición de sustancias que se acumulan con el tiempo); solución coagulante, esto crea que se deposite sobre la horma limpia una película del coagulante, la cual debe ser uniforme y libre de burbujas y contaminaciones; látex formulado, en este momento se crea la película de fórmula que contiene el hule y todos los componentes que dan las propiedades finales del guante.

Con este procedimiento se pueden hacer repetitivos algunos pasos para obtener diferentes características deseadas en el guante, o a la vez adicionar pasos según las necesidades específicas del guante deseado.

Después de las partículas de látex se realiza una inmersión en agua a 50°C, esta inmersión es para remover contaminantes en la fórmula y para extraer el exceso de coagulante en la película formada.

Posteriormente al proceso de los pasos anteriores en la línea se procede a enviar la horma con la película, a través de un horno. Dicho horno cumple dos funciones básicas, la de secado de la película y la de vulcanizado del producto. La fase de secado busca liberar el agua atrapada en la película en el momento que la formulación de látex coagula y la fase de vulcanización es en la cual los agentes vulcanizantes y acelerantes de la fórmula actúan químicamente con el látex para darle las propiedades elásticas y de resistencia al hule vulcanizado.

**Figura 1. Diagrama de recorrido del proceso de inmersión de látex natural.**



### **2.3.1 Hormas**

La horma es la base sobre la cual se forma la película de látex que dará la forma al producto final. Esta puede ser de diferentes materiales, por ejemplo: aluminio, plástico, cerámica y otros. En el presente caso las hormas utilizadas para el experimento fueron hormas de cerámica con forma de manos. La textura y la forma de las hormas son las que darán la apariencia final del guante. Es sumamente importante la calidad y el acabado de los mismos, ya que estos pueden evitar defectos y problemas en línea o también ocasionarlos.

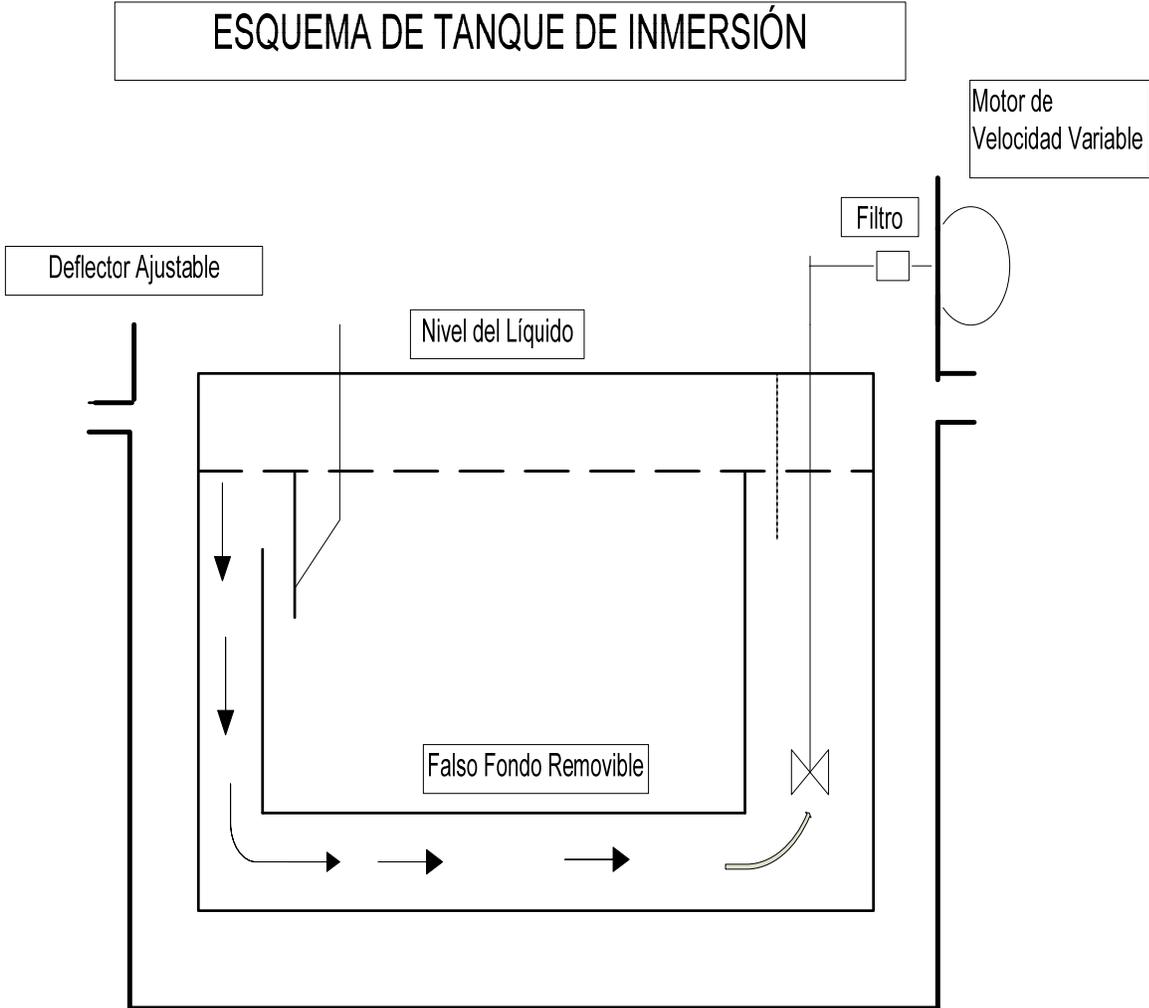
La horma deberá de tener las siguientes características principalmente: resistencia térmica (preferiblemente también a los cambios térmicos), excelente calidad de acabado, diferentes tamaños (según las tallas a producir), fácil de limpiar, principalmente.

Las hormas se sujetarán de platos o carros en línea, dependiendo del diseño de la línea de producción que se utiliza. El sistema de transporte y manipulación de las hormas debe ser de un material fácil de limpiar y resistente a la corrosión.

### **2.3.2 Tanques de inmersión**

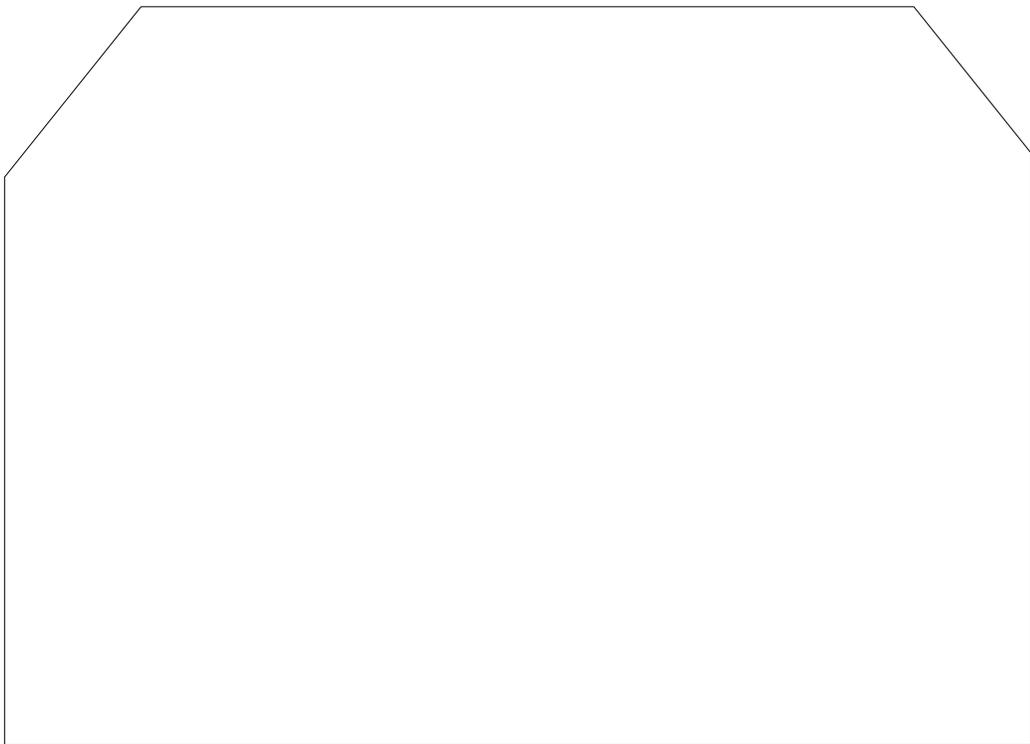
Los tanques de inmersión deben tener preferiblemente las siguientes características (Ver Figura 2 y 3):

Figura 2. Esquema de tanque de inmersión



**. Figura 3. Detalle frontal de deflector ajustable**

Detalle frontal de deflector ajustable



1. El material de construcción deberá permitir una fácil limpieza y hacer fácil la remoción de hule. El material deberá ser resistente a la corrosión, se recomienda acero inoxidable.
2. Es preferible que tenga mecanismos para controlar la temperatura del producto que contiene.
3. Poseer un sistema de agitación controlada, no muy rápida, para no generar burbuja ni muy lenta para evitar puntos muertos en la superficie.
4. Es recomendable que tenga doble fondo para atrapar residuos o contaminantes que precipiten en el primer fondo y evitar circulen con la agitación.
5. Es necesario que posea un sistema de válvula de alimentación en el fondo, de tal manera que no se incorpore aire en el momento de alimentarlo.
6. Un sistema de cerrarlo para los momentos en que no este en uso, ayudará a evitar formación de natas y o contaminación del producto.

### **2.3.3 Consideraciones importantes durante las inmersiones**

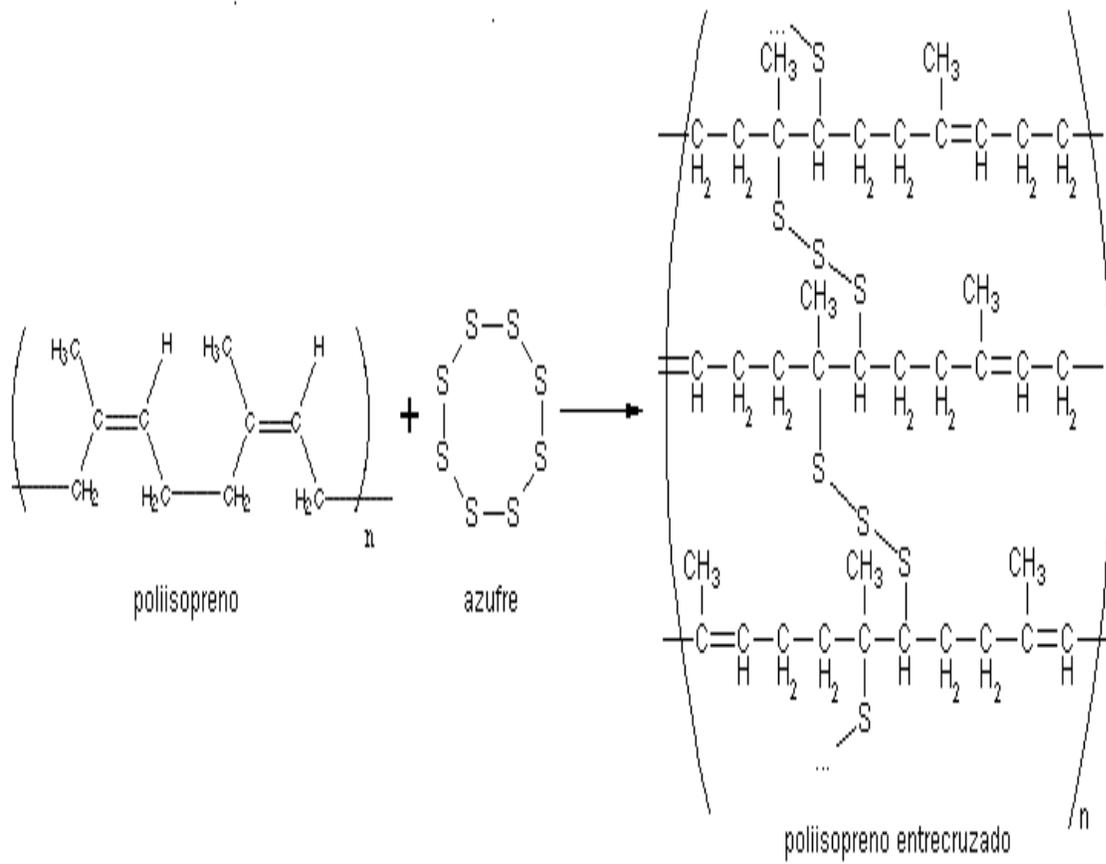
Durante el proceso de inmersión es importante considerar algunos parámetros del proceso, que pueden ser fundamentales para la producción de un guante de óptima calidad, así como para reducir la cantidad de desperdicio de la línea. A continuación enumeramos algunos, los cuales es necesario ajustar según el diseño de la línea de producción y las fórmulas utilizadas:

1. Horma: temperatura de la horma (se puede ajustar con un tanque de agua caliente) y limpieza de la horma.
2. Tanque de coagulante: temperatura del coagulante, velocidad de circulación, velocidad de inmersión, tiempo de residencia y velocidad de salida.
3. Tanque de látex formulado: temperatura del compuesto de látex, velocidad de circulación, velocidad de inmersión, tiempo de residencia y velocidad de salida.
4. Es necesario revisar las condiciones de las hormas entre tanques revisando secado, temperatura, gotas, carga uniforme y detalles de este tipo. Lo anterior para definir tiempo entre tanques y volteos de las hormas si es necesario, etc.
5. La temperatura y la humedad del ambiente son factores importantes a considerar, para ajustar las condiciones de trabajo de la línea de producción.

#### **2.3.4 Horno**

El horno cumple dos funciones básicas, la primera es la de secar la película de látex y la segunda es la de vulcanizar el guante. (Ver Figura 4)

Figura 4. Reacción de vulcanización.



Normalmente los hornos utilizados son de circulación de aire caliente. El sistema de calentado es por radiadores eléctricos, radiadores de aceite térmico o quemadores de gas. Aunque son recomendados los de transferencia indirecta, ya que la combustión produce algunos gases que pueden manchar el guante.

El horno está compuesto básicamente de dos zonas de temperatura, las cuales van en aumento conforme va avanzando la horma. El largo y el tiempo de residencia de la horma en cada zona, serán dependientes del largo total del horno y de la fórmula o el prevulcanizado que tenga la fórmula.

### **2.3.5 Guante, especificaciones y generalidades**

Los guantes se dividen en distintos grupos, dependiendo del uso para el que fueron fabricados, dentro de estos usos pueden existir categorías y ambientes que enfrentarán. A continuación describiremos los diferentes grupos y categorías, solamente para dar un marco de referencia y ubicar los guantes que se producen en el experimento.

Los guantes los podemos dividir en tres grandes grupos, los guantes de uso médico, los guantes de uso doméstico y los guantes de uso industrial. Dentro de estos grupos podemos hablar de diferentes categorías.

Los guantes varían sus características según el grupo en el que se encuentren y con esto obtenemos las especificaciones de los mismos. Por ejemplo los guantes médicos normalmente son guantes delgados que permiten mas sensación y que tienen resistencia a pinchazos, los guantes industriales son guantes que varían depende de su aplicación, los hay resistentes a químicos, a cortes, a abrasión, etc.

Los guantes de uso doméstico son guantes de bajo nivel de protección normalmente de hule natural, es mas importante normalmente su apariencia cosmética y su duración en condiciones de uso livianas.

Los parámetros principales de los guantes son las siguientes: largo, calibre (grosor de película), textura, color, origen, elongación, tensión, módulo de elongación, abrasión, resistencia al corte, permeabilidad a diferentes solventes, etc. Cuales se controlen y sus rangos de aceptación dependen del uso y de la clasificación en la que se tengan los guantes.

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Parámetros específicos del proceso de inmersión utilizados**

La metodología fue puramente experimental el proceso de inmersión a utilizar en el experimento se basó en una simulación completa, del utilizado en la línea de producción. A continuación se detalla el proceso de inmersión, así como se hace mención en cada paso que variables se pueden mover y que resultados se podrían esperar de dichas variaciones. (Ver Figura 1, pág. 17).

**Paso 1:** Tanque de agua caliente. Condiciones generales: temperatura de agua de 60°C, tiempo de inmersión 12 segundos, tiempo de residencia 20 segundos, tiempo de salida 19 segundos. Variables y resultados de cambios: la temperatura del agua es básicamente para no tener la horma fría en el momento de entrar al coagulante, el tiempo de inmersión no tiene mayor incidencia en este paso, el tiempo de residencia ayuda a la uniformidad de la temperatura, tiempo de salida ayuda a que la horma quede seca después de la inmersión en este tanque.

**Paso 2:** tanque de coagulante. Condiciones generales: temperatura de solución coagulante de 30°C, tiempo de inmersión 12 segundos, tiempo de residencia 0 segundos, tiempo de salida 19 segundos. Variables y resultados de cambios: la temperatura de solución coagulante es básicamente para ayudar en el secado y la carga de la película de coagulante, el tiempo de inmersión se gradúa para que no golpee muy fuerte en las puntas de los dedos y entre dedos ocasionando posibles agujeros o puntos débiles en esas partes, el tiempo de residencia se utiliza para uniformizar temperatura de la horma o uniformizar la película por humectación, el tiempo de salida se usa para regular la carga de la película y uniformidad de la misma, se gradúa para evitar gotas y golpe de membrana que ocasionen puntos débiles y agujeros.

**Paso 3:** tanque de compuesto de látex. Condiciones generales: temperatura de compuesto de látex ambiente, tiempo de inmersión 12 segundos, tiempo de residencia 1 minuto con 30 segundos, tiempo de salida 19 segundos. Variables y resultados de cambios: la temperatura de compuesto de látex se usa la del ambiente en condiciones normales, el tiempo de inmersión para evitar puntos débiles y agujeros por golpe en punta de dedos y entre dedos o rajados por ir muy lento, el tiempo de residencia según el grosor de película que se desee, el tiempo de salida para uniformidad de película, evitar gotas y evitar golpes de membrana que ocasionen puntos débiles o agujeros.

**Paso 4:** tanque de agua caliente: condiciones generales: temperatura del agua 50°C, tiempo de inmersión 12 segundos, tiempo de residencia 1 minuto 30 segundos, tiempo de salida 19 segundos. Variables y resultados de cambios: temperatura del agua varía para evitar daño a la película y mejorar las propiedades de lixiviación, el tiempo de inmersión no tiene mayor incidencia en

este paso, el tiempo de residencia debe ser lo mayor posible para obtener la mayor extracción de contaminantes, el tiempo de salida ayuda a que la película se seque después de la inmersión en este tanque.

**Paso 5:** horno de secado y vulcanizado. Condiciones de horno: etapa de secado durante 20 minutos a 85°C, etapa de vulcanizado durante 15 minutos a 110°C.

### **3.2 Equipo utilizado**

Cristalería:

Erlenmeyer de 250 ml

Beakers de 250 mililitros.

Beakers de 40 mililitros.

Pinzas de soporte.

Bureta de 50 mililitros.

Plancha de agitación.

Agitador magnético de teflón de 2 pulgadas.

Gotero.

Piseta.

Capsulas de aluminio, desechables.

Espátulas.

Varilla de vidrio.

**Equipo de producción:**

Tanque de inmersión agitado (Ver Figura 2, pág. 20).

Horma de porcelana talla 9 estándar.

Horno de convección Fisher Scientific modelo Isotemp Oven.

**Equipo de medición y análisis:**

Termómetro de mercurio de -20 a 150 grados centígrados, escala 1.

Densímetros de dos rangos: de 1.000 a 1.200 y de 1.200 a 1.400, escala 0.02.

Probeta de 100 mililitros, escala 1.

Potenciómetro marca Hanna Instruments modelo PH 213.

Balanza de humedad marca Mettler LP16 con PM480.

Calibrador marca Mitutoyo modelo 543-683BS.

**3.3 Reactivos y materias primas utilizados****Reactivos:**

Cloroformo, grado reactivo

Hidróxido de sodio, 1.0 normal

Indicador de fenolftaleína

**Materias primas:**

Látex natural formulado

Nitrato de calcio, grado fertirriego

Ácido acético, grado industrial 99%

**3.4 Métodos de análisis**

La metodología de análisis utilizada, fue con la que cuenta el Manual del Laboratorio de la empresa en la cual se realizó el presente estudio, las referencias de los mismos se encuentran descritas en cada uno de los métodos de análisis citados a continuación:

Medición de pH, método de análisis CHE –ML-015.

Prueba de Cloroformo, método de análisis CHE-ML-022.

% de sólidos totales, método de análisis CHE-ML-001.

Gravedad específica, método CHE-ML-012.

Prueba de titulación de ácido acético, método CHE-ML-023.

### **3.4.1 Medición de pH**

- Tomar la muestra del tanque del látex en un beacker.
- Encender el potenciómetro.
- Calibrar el potenciómetro.
- Verificar que la maquina este recientemente calibrada.
- Colocar el electrodo en el beacker que contiene la solución.
- Esperar a que el potenciómetro lea y que pare solo al estabilizar el instrumento.

### **3.4.2 Prueba de cloroformo**

- Tomar la muestra del tanque de látex en un beacker.
- Medir 10 ml de la muestra del látex en un beacker aforado de 50 ml.
- Agregarle 10 ml de cloroformo.
- Agitar el cloroformo y después de coagularse referirse a figuras de resultados. (Ver figura 4)

**Figura 5. Comparación de resultados en prueba de cloroformo.**



Cloroformo grado 1



Cloroformo grado 2



Cloroformo grado 3



Cloroformo grado 4

### **3.4.3 Porcentaje de sólidos totales**

- Tomar la muestra del tanque del látex en un beacker.
- Encender la balanza y tararla.
- Colocar el plato de aluminio sobre la balanza y tararlo.
- Agregar 0.500 gramos +/- 0.10 del compuesto a analizar en la balanza de humedad.
- Ajustar la temperatura de la balanza a 115° C y 7 minutos.
- Cerrar la balanza y esperar el resultado.
- Registrar el resultado de la pantalla de la balanza, el cual es el dato directo de sólidos totales.

### **3.4.4 Gravedad específica**

- Tomar una muestra de la solución de coagulante de 200 ml.
- Llenar una probeta de 100 ml de coagulante o solución a analizar.
- Una bureta adecuada para el rango a medir.
- Tomar la lectura perpendicular al líquido.
- La escala de medición del hidrómetro es de 0.02.

### 3.4.5 Titulación de ácido acético

- Tomar una bureta de 50 ml, llenarla con NaOH 1.0N y enrasarla.
- Colocar 5 ml de la solución diluída de ácido acético dentro del Erlenmeyer y agregarle 20ml de agua desmineralizada.
- Agregar 2 gotas de solución de fenolftaleína a la solución del erlenmeyer.
- Comenzar la titulación añadiendo lentamente la solución básica de la bureta.
- Agitar continuamente la solución del erlenmeyer hasta la aparición de un color rosa pálido.

Cálculos de determinación de ácido acético:

$$N_{ac} = (V_t * N_t) / V_{ac}$$

$$N_{ac} = (V_t * 1.0) / 5$$

$$\% \text{ m/v} = ((60 * N_{ac} * 0.005) / 5) * 100$$

$$\% \text{ m} = (\% \text{ m/v}) / G.E.$$

Donde:

$V_t$  = Volumen consumido de la solución de NaOH, mililitros.

$N_t$  = Normalidad de la solución de NaOH mili moles/mililitros.

$V_{ac}$  = Volumen de la alícuota a diluir de la muestra de ácido acético, mililitros.

$N_{ac}$  = Normalidad de la solución de muestra de ácido acético, mili moles/mililitros

$\% \text{ m/v}$  = Porcentaje en peso de ácido acético por volumen en el coagulante.

$\% \text{ m}$  = Porcentaje en peso.

G.E. = Gravedad específica.

### **3.5 Descripción del experimento y toma de datos**

La variable respuesta que se busca establecer como elemento de comparación es el espesor de los guantes. La experimentación se realiza con tres tratamientos, uno correspondiente a cada solución coagulante a comparar, generando tres guantes muestra por cada tratamiento, y posteriormente haciendo la medición de espesor en triplicado para cada guante de muestra generado. Este proceso se repite en seis diferentes concentraciones, lo cual dará un marco de elección para diferentes concentraciones de agente coagulante y su respectivo resultado de espesor de pelicular requerido, el diseño completo del experimento se puede observar en la tabla I. Los diagramas de cada serie de experimentación se puede encontrar en los resultados (Ver Figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11).

**Tabla I. Diseño general del experimento.**

LÁTEX NATURAL	PROCESO DE COAGULACIÓN QUÍMICA		
	AGENTE COAGULANTE		
	1. Nitrato de calcio en agua	MUESTRAS	MEDICIÓN DE ESPESOR DE GUANTE
	15% 20% 25% 30% 35% 40%	3 guantes de muestra por concentración	3 medidas de espesor por guante. Total de nueve mediciones por concentración.
	2. Nitrato de calcio en alcohol	MUESTRAS	MEDICIÓN DE ESPESOR DE GUANTE
	15% 20% 25% 30% 35% 40%	3 guantes de muestra por concentración	3 medidas de espesor por guante. Total de nueve mediciones por concentración.
	3. Acido Acético en agua	MUESTRAS	MEDICIÓN DE ESPESOR DE GUANTE
	15% 20% 25% 30% 35% 40%	3 guantes de muestra por concentración	3 medidas de espesor por guante. Total de nueve mediciones por concentración.

Los resultados de espesor para cada una de las series de porcentaje de agente coagulante controlado obtenidos son analizados estadísticamente por un análisis de varianza (*ANOVA* por sus siglas en inglés) para establecer que el uso de los diferentes agentes coagulantes inciden de forma significativa en el espesor de la película formada durante el proceso de producción de guante de hule natural tipo doméstico. El estadístico F obtenido es comparado con el F crítico calculado usando como base una variación estándar del 5%.

Los resultados obtenidos de espesor de película de guante obtenidos para cada una de las soluciones coagulantes evaluadas se graficarán en cada caso en función de la concentración del agente coagulante respectivo en solución para establecer el modelo de ecuación que de cómo resultado el factor de correlación que la valide.

Por otra parte, los resultados de gravedad específica contra la concentración en porcentaje en peso de los agentes coagulantes en la solución, son sometidos a una regresión lineal por el método de mínimos cuadrados para buscar una correlación lineal de los mismos. Generando la gráfica con su respectiva ecuación y corroborándola por el factor de correlación lineal.

A continuación se describen las soluciones coagulantes utilizadas para la experimentación y su nomenclatura, así como se muestra con detalle una descripción del experimento y la toma de datos que se utiliza para la comparación de las soluciones coagulantes.

Las soluciones coagulantes utilizadas son: nitrato de calcio en agua, nitrato de calcio en alcohol etílico y ácido acético en agua. El rango de dilución inicio en 15% de contenido de coagulante en el solvente, aumentando 5% para cada repetición con la solución coagulante, llegando hasta 40% de contenido de coagulante en el solvente, la nomenclatura que se utiliza para cada uno de los casos puede ser vista en la tabla II. Cada una de las mismas es posteriormente confirmada en su contenido utilizando el método de análisis de sólidos totales por balanza de humedad para el caso del nitrato de calcio y por titulación en el caso del ácido acético.

**Tabla II. Nomenclatura de tratamientos del experimento.**

Nomenclatura de proceso	Descripción de proceso
A1	Nitrato de calcio en agua con 15% de concentración
A2	Nitrato de calcio en agua con 20% de concentración
A3	Nitrato de calcio en agua con 25% de concentración
A4	Nitrato de calcio en agua con 30% de concentración
A5	Nitrato de calcio en agua con 35% de concentración
A6	Nitrato de calcio en agua con 40% de concentración
B1	Nitrato de calcio en alcohol con 15% de concentración
B2	Nitrato de calcio en alcohol con 20% de concentración
B3	Nitrato de calcio en alcohol con 25% de concentración
B4	Nitrato de calcio en alcohol con 30% de concentración
B5	Nitrato de calcio en alcohol con 35% de concentración
B6	Nitrato de calcio en alcohol con 40% de concentración
C1	Acido acético en agua con 15% de concentración
C2	Acido acético en agua con 20% de concentración
C3	Acido acético en agua con 25% de concentración
C4	Acido acético en agua con 30% de concentración
C5	Acido acético en agua con 35% de concentración
C6	Acido acético en agua con 40% de concentración

A continuación se describe paso por paso el experimento así como la toma de datos del mismo:

**Paso 1:** análisis del látex formulado: registrar el pH en duplicado y grado de cloroformo en duplicado.

**Paso 2:** análisis de la solución coagulante: registrar la temperatura, sólidos totales presentes en duplicado (en el caso de los dos coagulantes con nitrato de calcio) o titular la solución con hidróxido de sodio 1 Normal y registrar los mililitros usados en duplicado (en el caso del ácido acético). Registrar la gravedad específica para ambos coagulantes en duplicado.

**Paso 3:** realizar inmersión en el coagulante con las siguientes condiciones: tiempo de inmersión de la punta del dedo índice hasta 33 centímetros sobre la horma 12 segundos, tiempo de residencia de 0 segundos (no residencia), tiempo de salida hasta la punta del dedo índice 19 segundos.

**Paso 4:** esperar 30 segundos.

**Paso 5:** realizar inmersión en el látex formulado con las siguientes condiciones: Tiempo de inmersión desde la punta del dedo índice hasta 31.50 centímetros sobre la horma 12 segundos, tiempo de residencia de 1 minuto con 30 segundos, tiempo de salida hasta la punta del dedo índice 19 segundos.

**Paso 6:** colocar la horma con los dedos hacia arriba por 15 segundos y luego colocarla con los dedos hacia abajo durante 15 segundos.

**Paso 7:** corroborar que el horno se encuentre a 85°C y colocar la horma durante 20 minutos.

**Paso 8:** elevar la temperatura del horno a 110°C y esperar durante 15 minutos.

**Paso 9:** retirar la horma del horno e inmediatamente proceder a desmoldar el guante.

**Paso 10:** dejar enfriar durante 60 minutos en área de laboratorio.

**Paso 11:** en la toma de espesores de los guantes se realizan en tres muestras producidas bajo el proceso descrito anteriormente, la medida se realiza en triplicado midiendo 20 centímetros desde la punta del dedo índice, en circunferencia uno en dirección al centro de la palma de la mano, la siguiente en el lado opuesto y la última en dirección del dedo gordo (a la altura de la muñeca). Estos datos de espesor se ordenarán en las tablas de preparación para el análisis de varianzas (Ver Tablas X, XIII, XVI, XIX, XXII y XXV).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Tablas de datos

Tabla III. Datos de látex formulado.

		Análisis de látex							
Proceso	Tipo Látex	Cloroformo				pH			
		1	2	Promedio	Desv std	1	2	Promedio	Desv std
A1	Natural	1	1	1.08	0.00	10.7	10.75	10.81	0.06
A2	Natural	1	1			10.87	10.85		
A3	Natural	1	1			10.81	10.83		
A4	Natural	1	1			10.88	10.86		
A5	Natural	1	1			10.78	10.8		
A6	Natural	1.5	1.5			10.79	10.75		
B1	Natural	1.5	1.5	1.42	0.19	10.83	10.85	10.83	0.01
B2	Natural	1.5	1.5			10.81	10.83		
B3	Natural	1.5	1.5			10.82	10.82		
B4	Natural	1.5	1.5			10.81	10.83		
B5	Natural	1.5	1.5			10.83	10.84		
B6	Natural	1	1			10.8	10.84		
C1	Natural	1	1	1.00	0.00	11	10.98	10.93	0.05
C2	Natural	1	1			10.98	10.93		
C3	Natural	1	1			10.98	10.96		
C4	Natural	1	1			10.89	10.92		
C5	Natural	1	1			10.89	10.87		
C6	Natural	1	1			10.89	10.88		

**Tabla IV. Datos de concentración de coagulante formulado de nitrato de calcio.**

<b>Proceso</b>	<b>Temperatura de Coagulante</b>	<b>Sólidos Totales 1</b>	<b>Sólidos Totales 2</b>	<b>Sólidos Totales Promedio</b>
1A	30.0	14.93	14.96	14.95
2A	31.5	20.04	20.02	20.03
3A	30.0	24.95	25.09	25.02
4A	30.5	30.81	30.07	30.44
5A	31.5	35.85	35.57	35.71
6A	30.0	40.01	39.96	39.99
1B	30.0	14.95	14.10	14.53
2B	31.5	21.09	21.03	21.06
3B	31.0	25.95	25.86	25.91
4B	31.0	29.18	30.01	29.60
5B	30.0	34.00	33.99	34.00
6B	30.0	39.01	40.83	39.92

**Tabla V. Datos de concentración de coagulante formulado de ácido acético.**

Proceso	Temperatura Coagulante °C	NaOH (ml)			% Ácido Acético Promedio
		Titulación 1	Titulación 2	Promedio	
C1	30.0	12.50	12.60	12.55	14.83
C2	30.0	16.80	16.80	16.80	19.76
C3	30.5	21.00	20.90	20.95	24.70
C4	30.0	25.70	25.50	25.60	29.68
C5	30.5	30.30	30.40	30.35	35.02
C6	30.5	34.50	34.60	34.55	39.67

**Tabla VI. Datos de concentración y gravedad específica de soluciones coagulantes.**

<b>Proceso</b>	<b>Sólidos Promedio</b>	<b>% Acido Acético</b>	<b>Gravedad Específica 1</b>	<b>Gravedad Específica 2</b>	<b>Gravedad Específica Promedio</b>
A1	14.945	N/A	1.100	1.100	1.100
A2	20.030	N/A	1.140	1.140	1.140
A3	25.020	N/A	1.180	1.180	1.180
A4	30.440	N/A	1.210	1.210	1.210
A5	35.710	N/A	1.260	1.260	1.260
A6	39.985	N/A	1.300	1.300	1.300
B1	14.525	N/A	0.860	0.860	0.860
B2	21.060	N/A	0.910	0.910	0.910
B3	25.905	N/A	0.950	0.950	0.950
B4	29.595	N/A	0.990	0.990	0.990
B5	33.995	N/A	1.020	1.020	1.020
B6	39.920	N/A	1.080	1.080	1.080
C1	N/A	14.83	1.015	1.016	1.016
C2	N/A	19.76	1.020	1.020	1.020
C3	N/A	24.70	1.030	1.030	1.030
C4	N/A	29.68	1.035	1.035	1.035
C5	N/A	35.02	1.040	1.040	1.040
C6	N/A	39.67	1.045	1.045	1.045

**Tabla VII. Datos de resultados de espesor de guante terminado.**

Proceso	Espesor								
	Guante 1			Guante 2			Guante 3		
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
A1	0.394	0.406	0.394	0.356	0.368	0.381	0.394	0.381	0.394
A2	0.445	0.445	0.445	0.445	0.445	0.419	0.457	0.432	0.419
A3	0.432	0.445	0.445	0.470	0.495	0.445	0.445	0.432	0.445
A4	0.457	0.483	0.483	0.457	0.445	0.470	0.445	0.470	0.457
A5	0.470	0.483	0.470	0.495	0.495	0.470	0.470	0.483	0.495
A6	0.495	0.521	0.495	0.521	0.521	0.508	0.495	0.521	0.521
B1	0.305	0.305	0.292	0.305	0.305	0.305	0.318	0.318	0.305
B2	0.406	0.394	0.406	0.406	0.406	0.406	0.419	0.406	0.419
B3	0.432	0.445	0.432	0.445	0.432	0.445	0.457	0.445	0.432
B4	0.470	0.457	0.470	0.457	0.457	0.470	0.457	0.470	0.483
B5	0.521	0.521	0.508	0.521	0.546	0.533	0.508	0.521	0.521
B6	0.546	0.546	0.546	0.546	0.559	0.533	0.546	0.533	0.546
C1	0.381	0.330	0.318	0.318	0.356	0.305	0.343	0.356	0.305
C2	0.419	0.419	0.445	0.406	0.432	0.432	0.406	0.419	0.419
C3	0.419	0.445	0.445	0.406	0.432	0.432	0.419	0.470	0.445
C4	0.419	0.445	0.419	0.445	0.457	0.470	0.419	0.419	0.445
C5	0.470	0.483	0.470	0.432	0.470	0.470	0.457	0.470	0.470
C6	0.470	0.495	0.483	0.470	0.483	0.495	0.470	0.495	0.495

## 4.2 Análisis de varianza

### Análisis estadístico:

Para cada concentración de los tres agentes coagulantes evaluados se utilizó un análisis de varianza por medio de un diseño unifactorial en un solo sentido completamente aleatorio con la distribución de Fisher, esto debido a que se trataron más de dos niveles. Siendo unifactorial por ser solo el agente coagulante, se tienen tres tratamientos o soluciones coagulantes y nueve repeticiones, en este caso espesores de la película. El arreglo matricial fue de veintisiete series para cada concentración determinada. Los datos se arreglaron como sigue:

**Tabla VIII. Variables para el diseño unifactorial en un sólo sentido.**

<b>Tratamientos</b>	<b>No. de observaciones</b>			<b>Total</b>	<b>Promedio</b>
<b>1</b>	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	$Y_1$	$y_1$
<b>2</b>	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	$Y_2$	$y_2$
<b>3</b>	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	$Y_3$	$y_3$
<b>a</b>	$Y_{a,1}$	$Y_{a,2}$	$Y_{a,3}$	$Y_a$	$y_a$
				$Y_i$	$y$

Donde:

$Y_a$  = es el total de las observaciones bajo el  $i$ -ésimo tratamiento

$\bar{Y}_a$  = es el promedio de las observaciones bajo el  $i$ -ésimo tratamiento, similarmente  $Y_i$  es la suma de todas las observaciones  $y$ –y la media general de las observaciones.

El procedimiento para el diseño consistió en seleccionar una repetición completa del experimento, con un solo factor con  $a$  niveles (tratamientos). Las observaciones  $n$  se representaron por medio de un modelo estadístico lineal.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

$y_{ij}$  = observación  $ij$ ésima.

$\mu$  = media general.

$\tau_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  = error aleatorio.

$N$  = número total de observaciones ( $a \times n$ ).

Las operaciones para el análisis de varianza se resumen en la siguiente tabla, así como las fórmulas para el cálculo de suma de cuadrados. Los tratamientos o agentes coagulantes fueron 3, adoptando la variable  $a$ ; las repeticiones o espesores del mismo agente coagulante fueron 9, adoptando la variable  $n$ .

**Tabla IX. Análisis de varianza para el diseño unifactorial en un sólo sentido.**

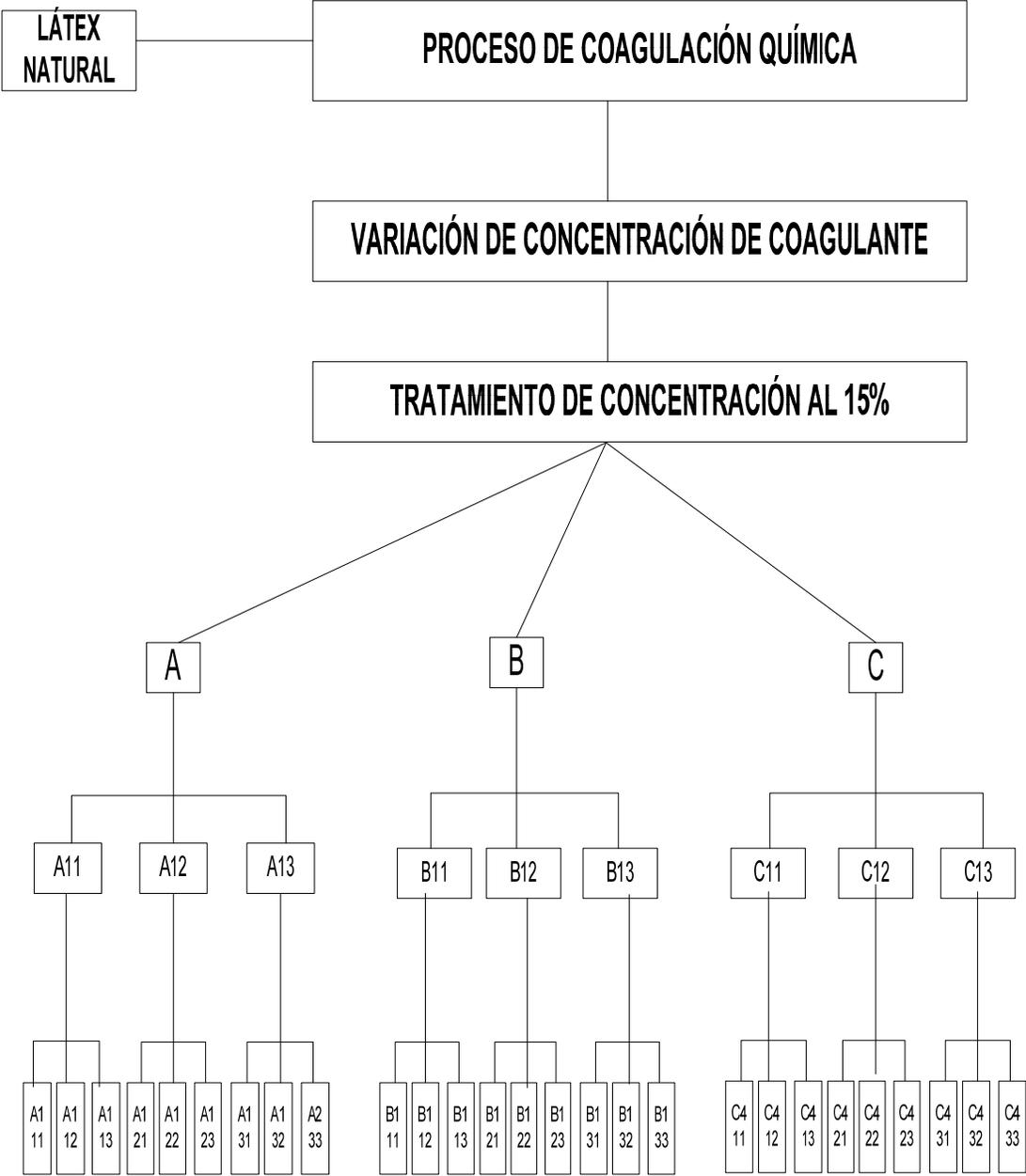
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F0
<i>Tratamientos</i>	$\sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n_i} - \frac{N^2}{n}$	$a - 1$	$\frac{SS_{\text{Tratamientos}}}{(a - 1)}$	$\frac{(M_{\text{Tratamientos}} - \bar{y})^2}{MSE}$
<i>Error</i>	$SSE$ (por sustracción)	$N - a$	$\frac{SSE}{(N - a)}$	
<i>Total</i>	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_j} y_{ij}^2 - \frac{N^2}{n}$	$N - 1$		

$$MS_{\text{Tratamientos}} F_0 = \frac{MS_{\text{Tratamientos}}}{MS_E}$$

$$F_0 = \frac{MS_{\text{Tratamientos}}}{MS_E}$$

En este caso se busca establecer una diferencia estadísticamente significativa entre los tres agentes coagulantes evaluados para cada una de las concentraciones establecidas de forma independiente. Para proceder a esta comprobación el factor calculado  $F_o$ , debe ser mayor al F crítico del diseño experimental. El F crítico para este diseño experimental es : nivel de confianza es igual a 0.05 con 2 grados de libertad para tratamientos (3 – 1) y 24 para el error (27 – 3) se obtiene un valor de F crítico de 3.4, el cual fue comparado con cada uno de los valores  $F_o$  de cada concentración evaluada para los tres agentes coagulantes, en función de los espesores de película obtenidos.

Figura 6. Comparación de agentes coagulantes con 15% de concentración.



**Tabla X. Datos para aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 15%.**

<b>TRATAMIENTO</b>				
<b>Resultados</b>	<b>Coagulante A1</b>	<b>Coagulante B1</b>	<b>Coagulante C1</b>	<b>Promedio</b>
<b>Guante 1, espesor 1</b>	0.394	0.305	0.381	0.360
<b>Guante 1, espesor 2</b>	0.406	0.305	0.330	0.347
<b>Guante 1, espesor 3</b>	0.394	0.292	0.318	0.334
<b>Guante 2, espesor 1</b>	0.356	0.305	0.318	0.326
<b>Guante 2, espesor 2</b>	0.368	0.305	0.356	0.343
<b>Guante 2, espesor 3</b>	0.381	0.305	0.305	0.330
<b>Guante 3, espesor 1</b>	0.394	0.318	0.343	0.351
<b>Guante 3, espesor 2</b>	0.381	0.318	0.356	0.351
<b>Guante 3, espesor 3</b>	0.394	0.305	0.305	0.334
<b>Promedio</b>	0.385	0.306	0.334	

**Tabla XI. Resumen de análisis *anova* de la concentración del 15%**

*Anova*: Diseño unifactorial

Resumen

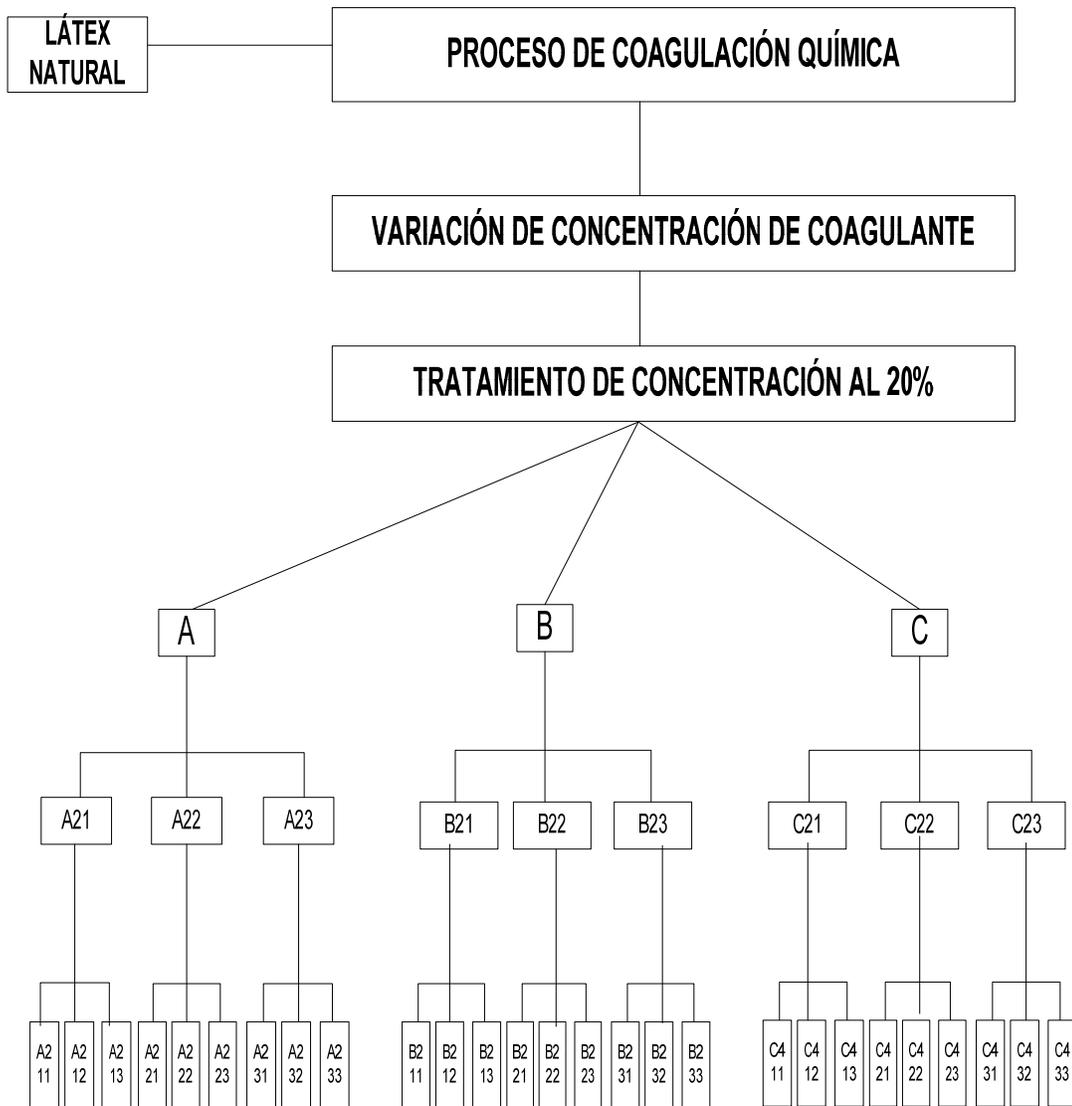
<b>Grupos</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Variación</b>
Columna 1	9	3.4671	0.385233	0.000242
Columna 2	9	2.7559	0.306211	5.82E-05
Columna 3	9	3.0099	0.334433	0.000685

**Tabla XII. Análisis *anova* de la concentración del 15%**

ANOVA

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F calculado</b>	<b>F crítico</b>	<b><math>\Delta F</math></b>	<b>Log <math>\Delta F</math></b>
Entre grupos	0.028865	2	0.014432	43.92727	3.40282 6	40.52444 4	1.6077
Dentro de grupos	0.007885	24	0.000329				
Total	0.03675	26					

Figura 7. Comparación de agentes coagulantes con 20% de concentración.



**Tabla XIII. Datos para aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 20%.**

<b>TRATAMIENTO</b>				
<b>Resultados</b>	<b>Coagulante A2</b>	<b>Coagulante B2</b>	<b>Coagulante C2</b>	<b>Promedio</b>
<b>Guante 1, espesor 1</b>	0.445	0.406	0.419	0.423
<b>Guante 1, espesor 2</b>	0.445	0.394	0.419	0.419
<b>Guante 1, espesor 3</b>	0.445	0.406	0.445	0.432
<b>Guante 1, espesor 3</b>	0.445	0.406	0.406	0.419
<b>Guante 2, espesor 2</b>	0.445	0.406	0.432	0.428
<b>Guante 2, espesor 3</b>	0.419	0.406	0.432	0.419
<b>Guante 3, espesor 1</b>	0.457	0.419	0.406	0.428
<b>Guante 3, espesor 2</b>	0.432	0.406	0.419	0.419
<b>Guante 3, espesor 3</b>	0.419	0.419	0.419	0.419
<b>Promedio</b>	0.439	0.408	0.422	0.423

**Tabla XIV. Resumen de análisis *anova* de la concentración del 20%**

*Anova*: Diseño unifactorial.

Resumen

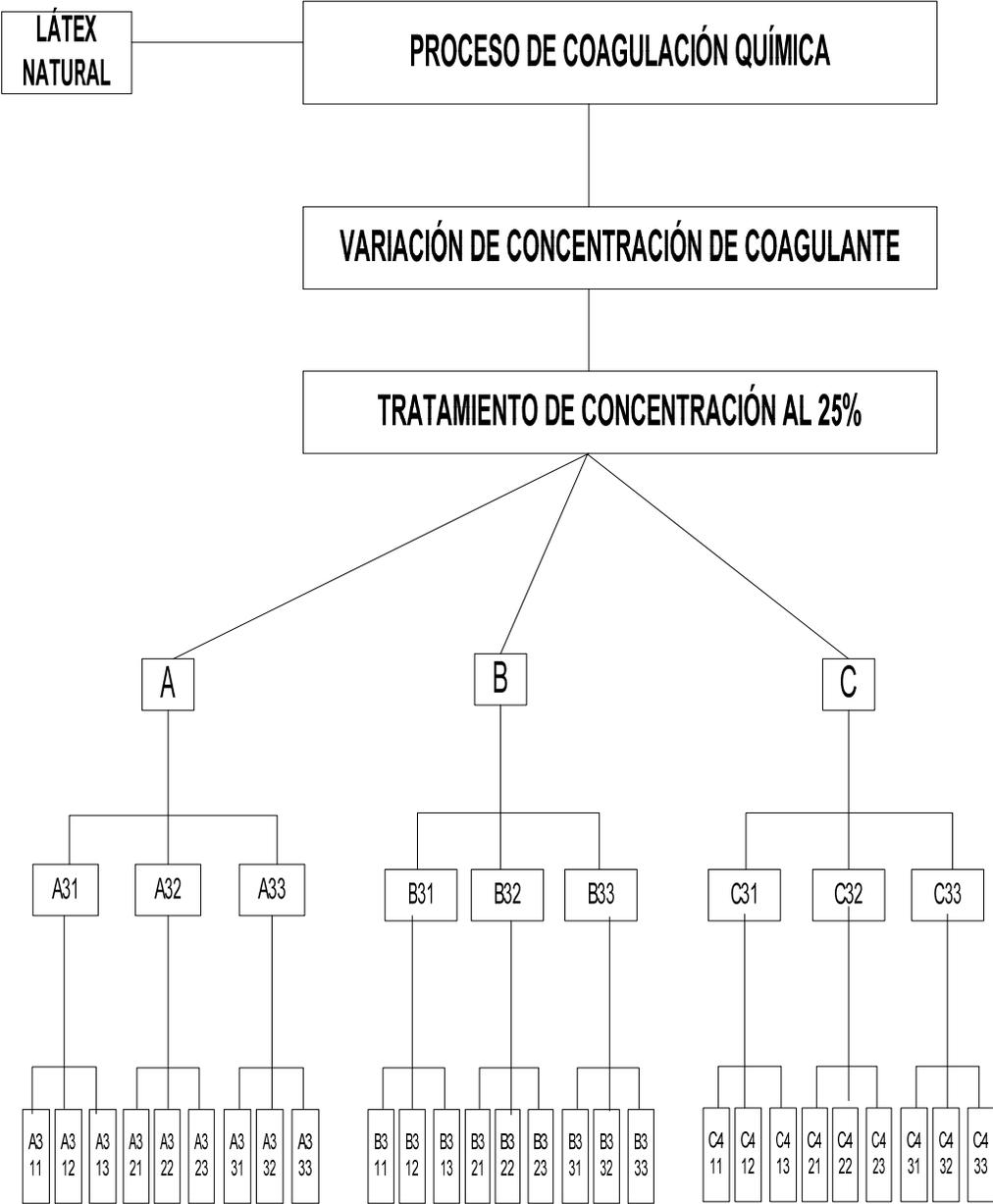
<b>Grupos</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
Columna 1	9	3.9497	0.438856	0.000166
Columna 2	9	3.6703	0.407811	5.82E-05
Columna 3	9	3.7973	0.421922	0.000152

**Tabla XV. Análisis *anova* de la concentración del 20%**

ANOVA

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F calculado</b>	<b>F crítico</b>	<b><math>\Delta F</math></b>	<b>Log <math>\Delta F</math></b>
Entre grupos	0.004349	2	0.002174	17.33333	3.402826	13.93050 4	1.1440
Dentro de grupos	0.003011	24	0.000125				
Total	0.00736	26					

**Figura 8. Comparación de agentes coagulantes con 25% de concentración**



**Tabla XVI. Datos para aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 25%.**

<b>TRATAMIENTO</b>				
<b>Resultados</b>	<b>Coagulante A3</b>	<b>Coagulante B3</b>	<b>Coagulante C3</b>	<b>Promedio</b>
<b>Guante 1, espesor 1</b>	0.432	0.432	0.419	0.428
<b>Guante 1, espesor 2</b>	0.445	0.445	0.445	0.445
<b>Guante 1, espesor 3</b>	0.445	0.432	0.445	0.440
<b>Guante 2, espesor 1</b>	0.470	0.445	0.406	0.440
<b>Guante 2, espesor 2</b>	0.495	0.432	0.432	0.453
<b>Guante 2, espesor 3</b>	0.445	0.445	0.432	0.440
<b>Guante 3, espesor 1</b>	0.445	0.457	0.419	0.440
<b>Guante 3, espesor 2</b>	0.432	0.445	0.470	0.449
<b>Guante 3, espesor 3</b>	0.445	0.432	0.445	0.440
<b>Promedio</b>	0.450	0.440	0.435	

**Tabla XVII. Resumen de análisis anova de la concentración 25%**

Anova: Diseño unifactorial

Resumen

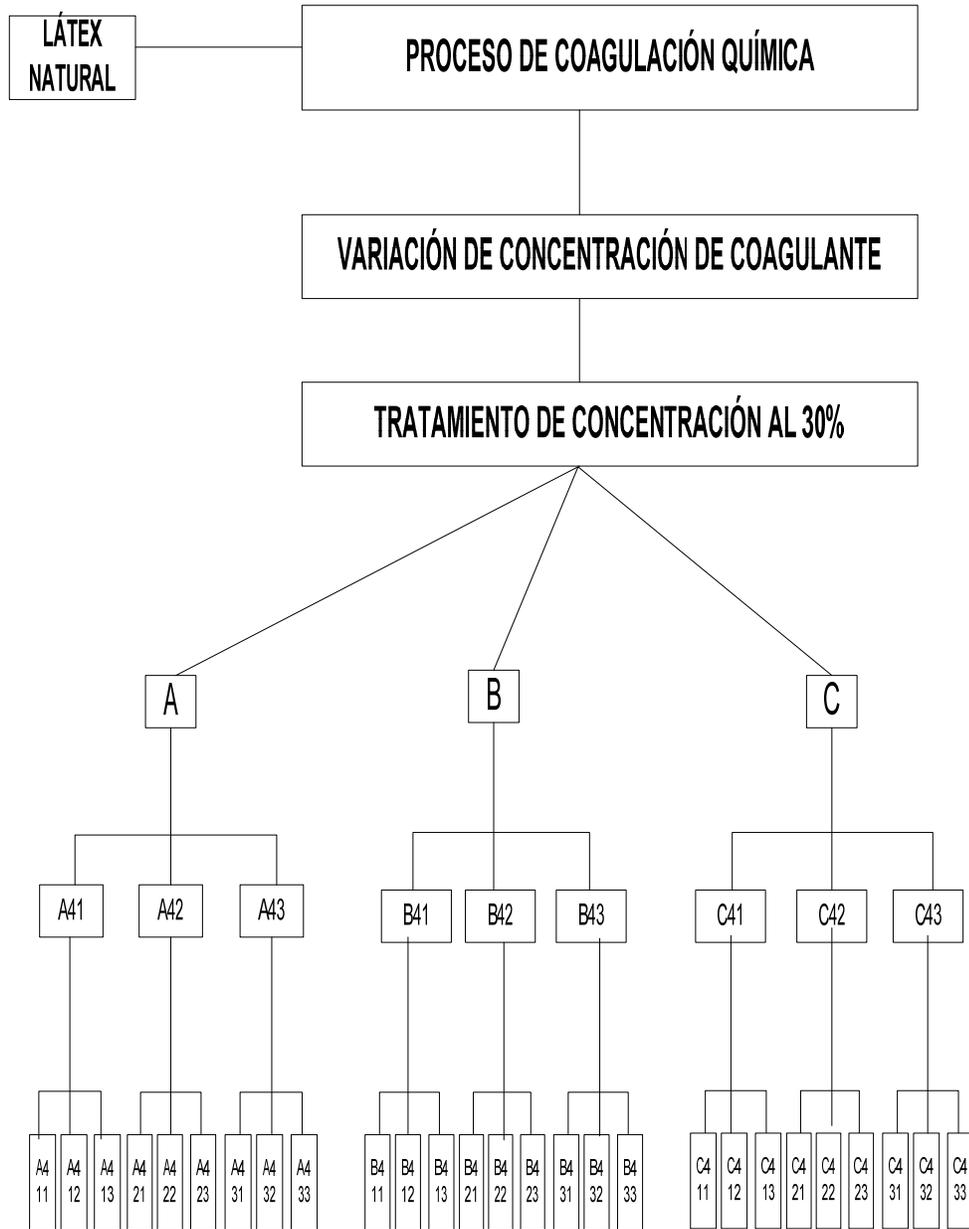
<b>Grupos</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
Columna 1	9	4.0513	0.450144	0.000408
Columna 2	9	3.9624	0.440267	8.06E-05
Columna 3	9	3.9116	0.434622	0.000354

**Tabla XVIII. Análisis anova de la concentración del 25%**

ANOVA

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F calculado</b>	<b>F crítico</b>	<b><math>\Delta F</math></b>	<b>Log <math>\Delta F</math></b>
Entre grupos	0.001111	2	0.000556	1.978723	3.402826	-1.424103	N/A
Dentro de grupos	0.006738	24	0.000281				
Total	0.007849	26					

Figura 9. Comparación de agentes coagulantes con 30% de concentración.



**Tabla XIX. Datos para aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 30%.**

<b>TRATAMIENTO</b>				
<b>Resultados</b>	<b>Coagulante A4</b>	<b>Coagulante B4</b>	<b>Coagulante C4</b>	<b>Promedio</b>
<b>Guante 1, espesor 1</b>	0.457	0.470	0.419	0.449
<b>Guante 1, espesor 2</b>	0.483	0.457	0.445	0.461
<b>Guante 1, espesor 3</b>	0.483	0.470	0.419	0.457
<b>Guante 2, espesor 1</b>	0.457	0.457	0.445	0.453
<b>Guante 2, espesor 2</b>	0.445	0.457	0.457	0.453
<b>Guante 2, espesor 3</b>	0.470	0.470	0.470	0.470
<b>Guante 3, espesor 1</b>	0.445	0.457	0.419	0.440
<b>Guante 3, espesor 2</b>	0.470	0.470	0.419	0.453
<b>Guante 3, espesor 3</b>	0.457	0.483	0.445	0.461
<b>Promedio</b>	0.463	0.466	0.437	0.455

**Tabla XX. Resumen de análisis *anova* de la concentración 30%**

*Anova*: Diseño unifactorial

Resumen

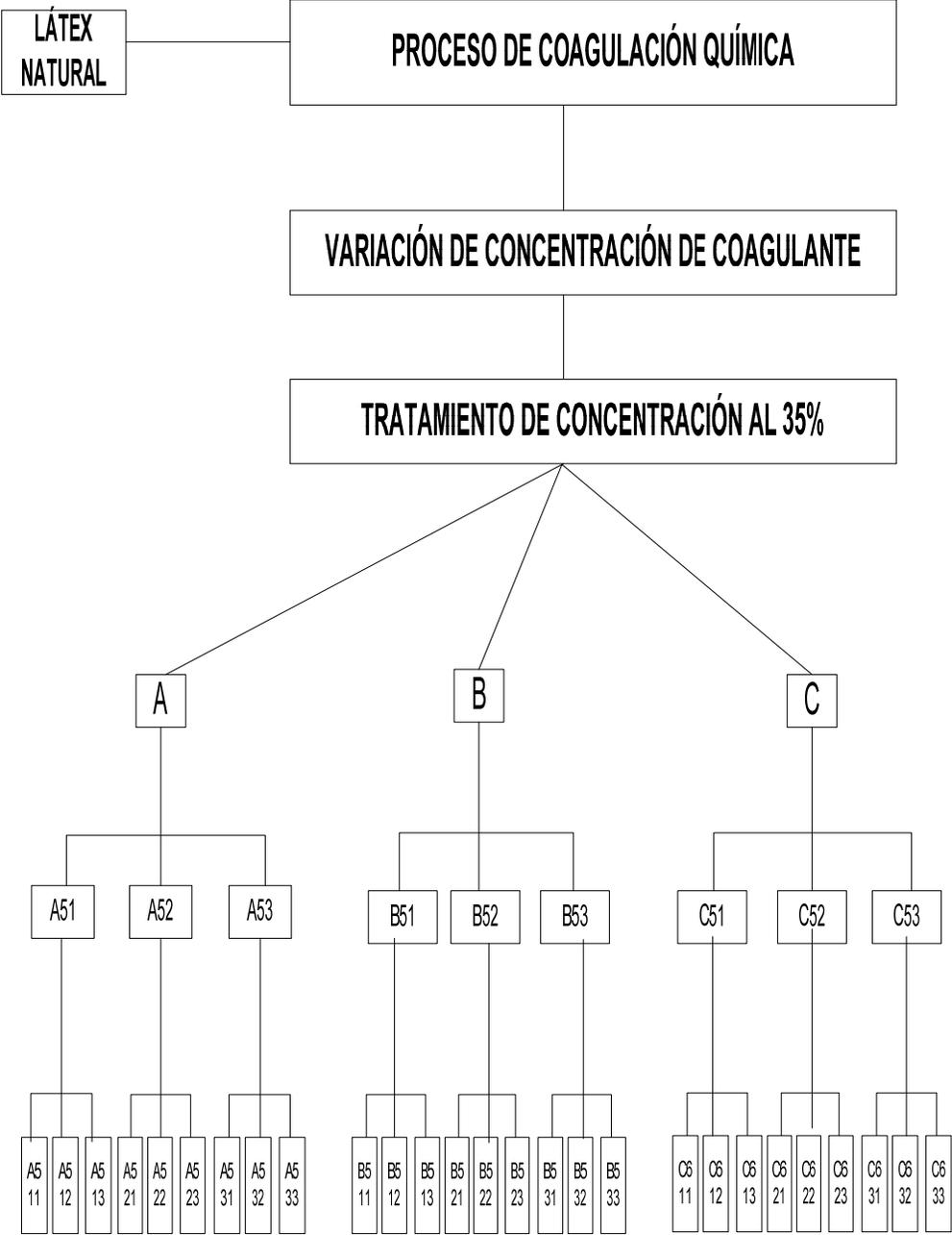
<b>Grupos</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
Columna 1	9	4.1656	0.462844	0.000206
Columna 2	9	4.191	0.465667	8.06E-05
Columna 2	9	3.937	0.437444	0.000367

**Tabla XXI. Análisis *anova* de la concentración del 30%**

ANOVA

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F calculado</b>	<b>F crítico</b>	<b><math>\Delta F</math></b>	<b>Log <math>\Delta F</math></b>
Entre grupos	0.004349	2	0.002174	9.972603	3.402826	6.569777	0.8175
Dentro de grupos	0.005233	24	0.000218				
Total	0.009582	26					

**Figura 10. Comparación de agentes coagulantes con 35% de concentración.**



**Tabla XXII. Datos para aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 35%.**

<b>TRATAMIENTO</b>				
<b>Resultados</b>	<b>Coagulante A5</b>	<b>Coagulante B5</b>	<b>Coagulante C5</b>	<b>Promedio</b>
<b>Guante 1, espesor 1</b>	0.470	0.521	0.470	0.487
<b>Guante 1, espesor 2</b>	0.483	0.521	0.483	0.495
<b>Guante 1, espesor 3</b>	0.470	0.508	0.470	0.483
<b>Guante 2, espesor 1</b>	0.495	0.521	0.432	0.483
<b>Guante 2, espesor 2</b>	0.495	0.546	0.470	0.504
<b>Guante 2, espesor 3</b>	0.470	0.533	0.470	0.491
<b>Guante 3, espesor 1</b>	0.470	0.508	0.457	0.478
<b>Guante 3, espesor 2</b>	0.483	0.521	0.470	0.491
<b>Guante 3, espesor 3</b>	0.495	0.521	0.470	0.495
<b>Promedio</b>	0.481	0.522	0.466	0.490

**Tabla XXIII. Resumen de análisis anova de la concentración 35%**

*Anova:* Diseño unifactorial

Resumen

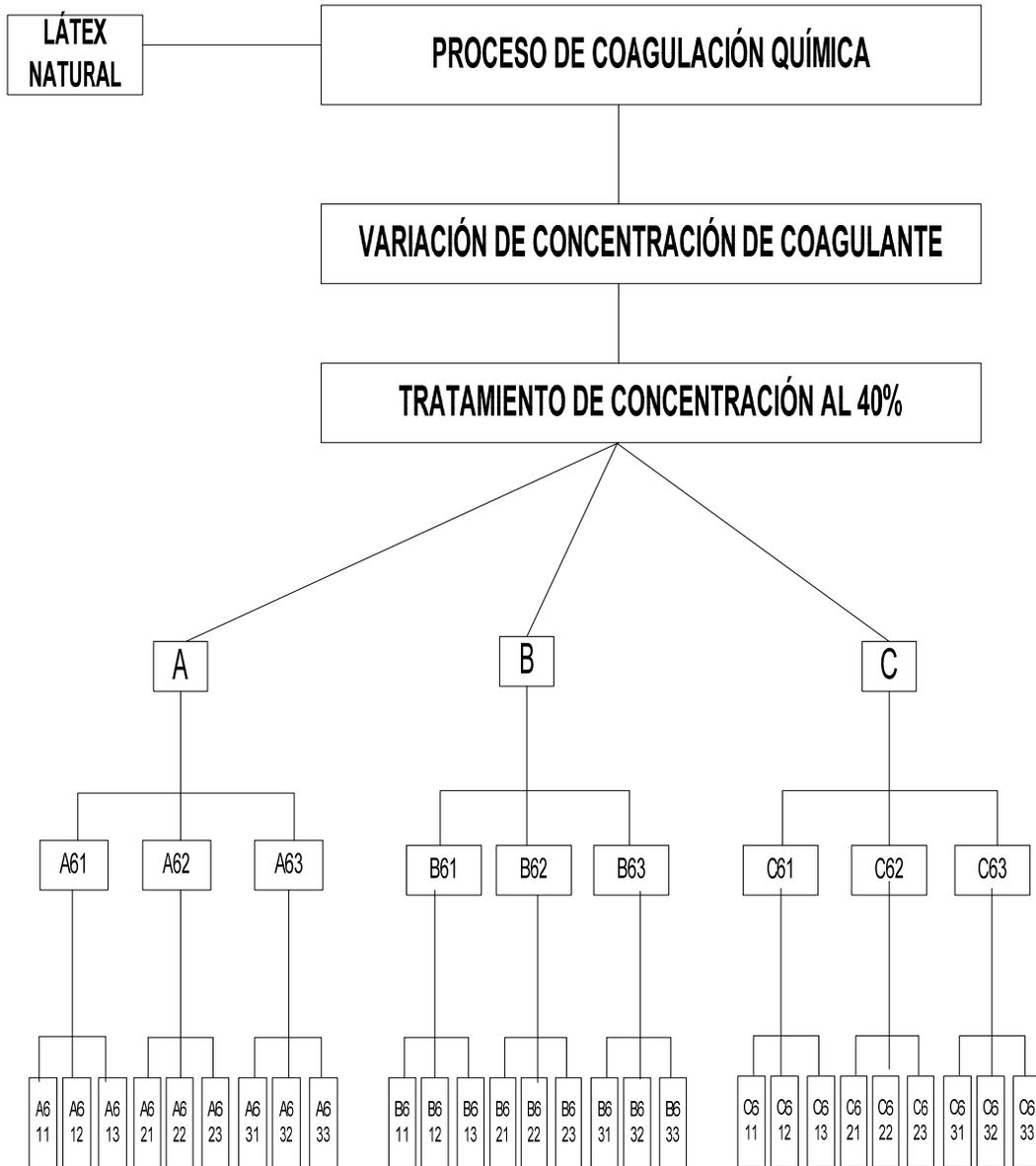
<b>Grupos</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
Columna 1	9	4.3307	0.481189	0.000139
Columna 2	9	4.699	0.522111	0.000139
Columna 3	9	4.191	0.465667	0.000202

**Tabla XXIV. Análisis anova de la concentración del 35%**

ANOVA

<b>Fuente de varianza</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F calculado</b>	<b>F crítico</b>	<b><math>\Delta F</math></b>	<b>Log <math>\Delta F</math></b>
Entre grupos	0.015305	2	0.007652	47.88785	3.402826	45.485024	1.6578
Dentro de grupos	0.003835	24	0.00016				
Total	0.01914	26					

**Figura 11. Comparación de agentes coagulantes con 40% de concentración.**



**Tabla XXV. Datos para aplicación de análisis de varianza a las soluciones con agentes coagulantes al 40%.**

<b>TRATAMIENTO</b>				
<b>Resultados</b>	<b>Coagulante A6</b>	<b>Coagulante B6</b>	<b>Coagulante C6</b>	<b>Promedio</b>
<b>Guante 1, espesor 1</b>	0.495	0.546	0.470	0.504
<b>Guante 1, espesor 2</b>	0.521	0.546	0.495	0.521
<b>Guante 1, espesor 3</b>	0.495	0.546	0.483	0.508
<b>Guante 2, espesor 1</b>	0.521	0.546	0.470	0.512
<b>Guante 2, espesor 2</b>	0.521	0.559	0.483	0.521
<b>Guante 2, espesor 3</b>	0.508	0.533	0.495	0.512
<b>Guante 3, espesor 1</b>	0.495	0.546	0.470	0.504
<b>Guante 3, espesor 2</b>	0.521	0.533	0.495	0.516
<b>Guante 3, espesor 3</b>	0.521	0.546	0.495	0.521
<b>Promedio</b>	0.511	0.545	0.484	0.513

**Tabla XXVI. Resumen de análisis *anova* de la concentración 40%**

*Anova*: Diseño unifactorial

Resumen

<b>Grupos</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
Columna 1	9	4.5974	0.510822	0.000152
Columna 2	9	4.9022	0.544689	5.82E-05
Columna 3	9	4.3561	0.484011	0.000139

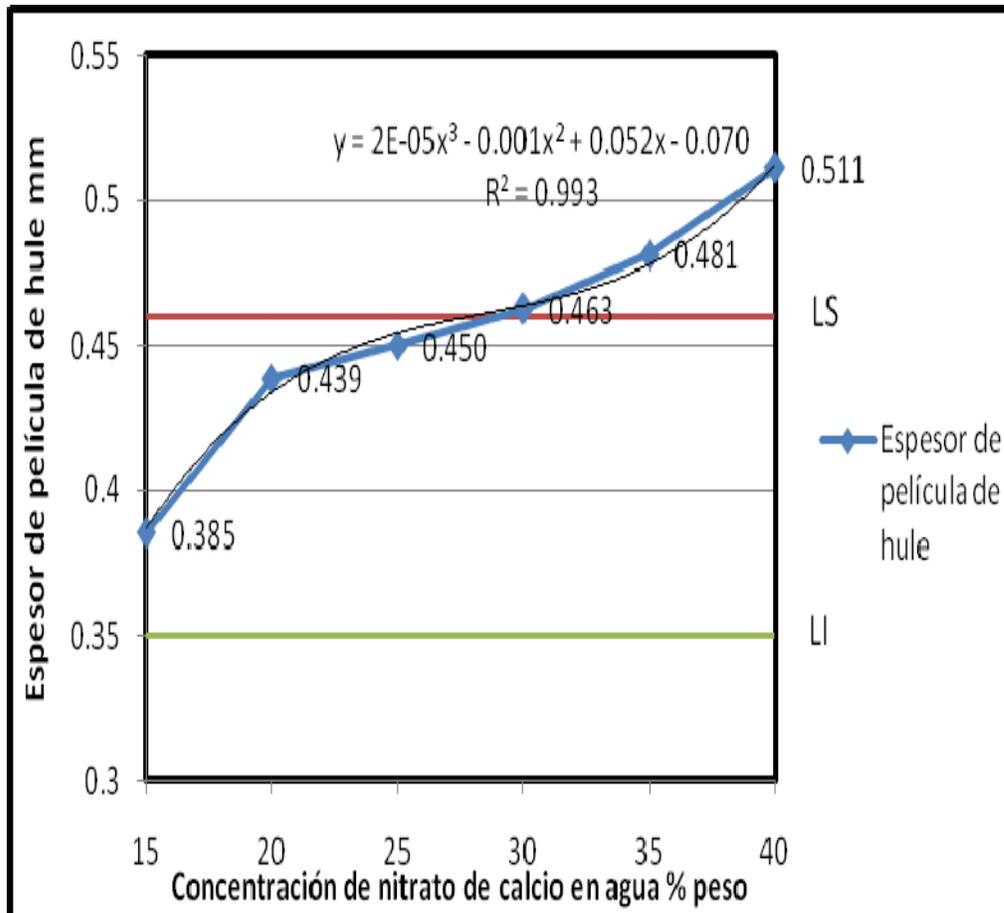
**Tabla XXVII. Análisis *anova* de la concentración del 40%**

ANOVA

<b>Fuente de varianza</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F calculado</b>	<b>F crítico</b>	<b><math>\Delta F</math></b>	<b>Log <math>\Delta F</math></b>
Entre grupos	0.016643	2	0.008321	71.4359	3.402826	68.03307	1.8327
Dentro de grupos	0.002796	24	0.000116				
Total	0.019438	26					

### 4.3 Gráficos de resultados

Figura 12. Gráfica del espesor de película de hule natural en función de la concentración de nitrato de calcio en agua aplicado a látex formulado con cloroformo 1.08 y pH 10.81.



**Figura 13. Gráfica del espesor de película de hule natural en función de la concentración de nitrato de calcio en etanol aplicado a látex formulado con cloroformo 1.42 y pH 10.83.**

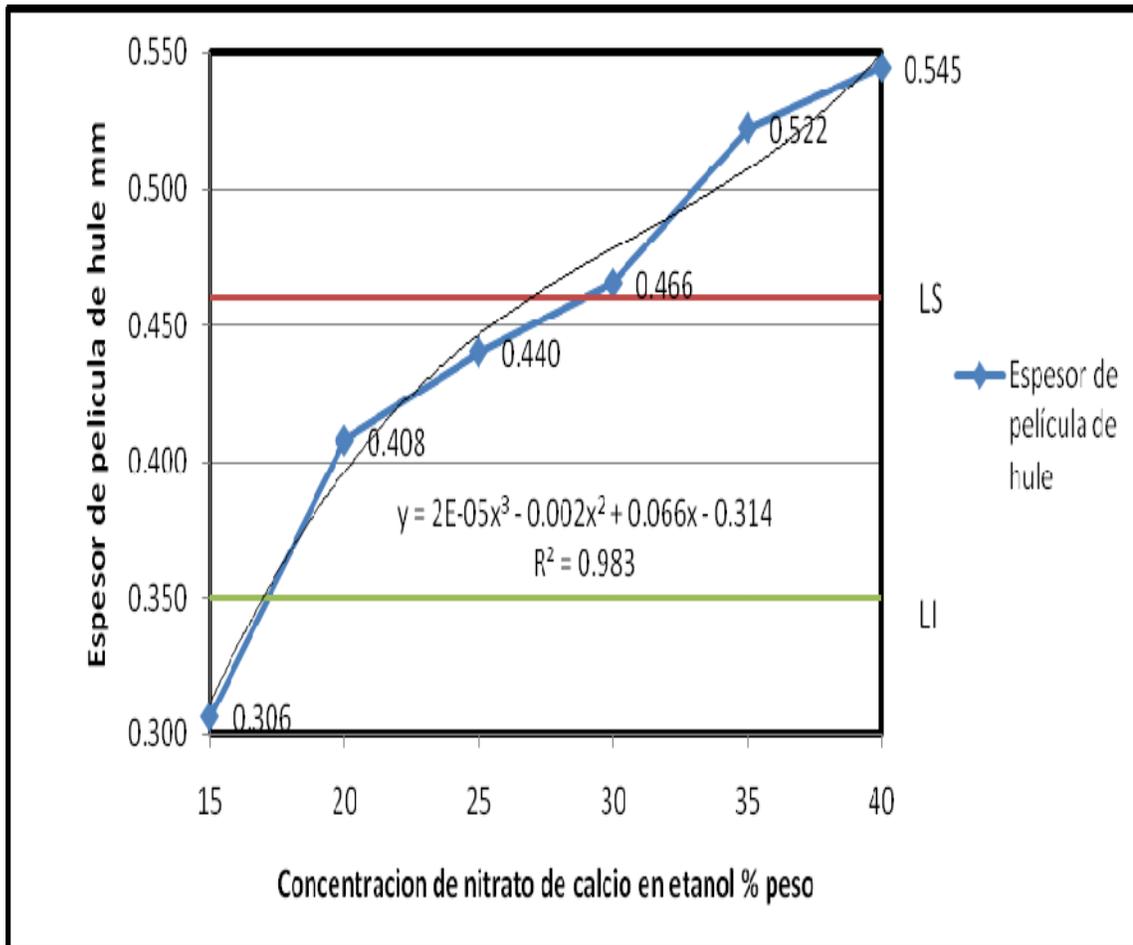


Figura 14. Gráfica del espesor de película de hule natural en función de la concentración de ácido acético en agua aplicado a látex formulado con cloroformo 1.00 y pH 10.93.

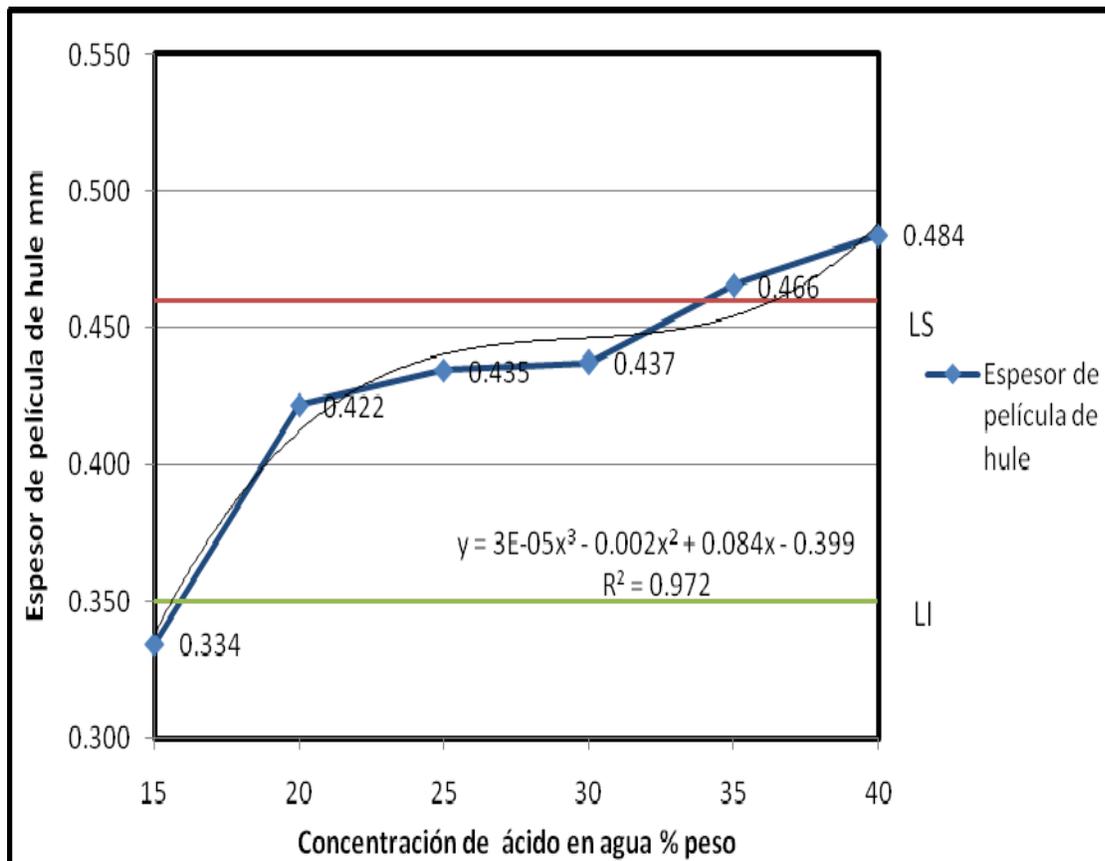
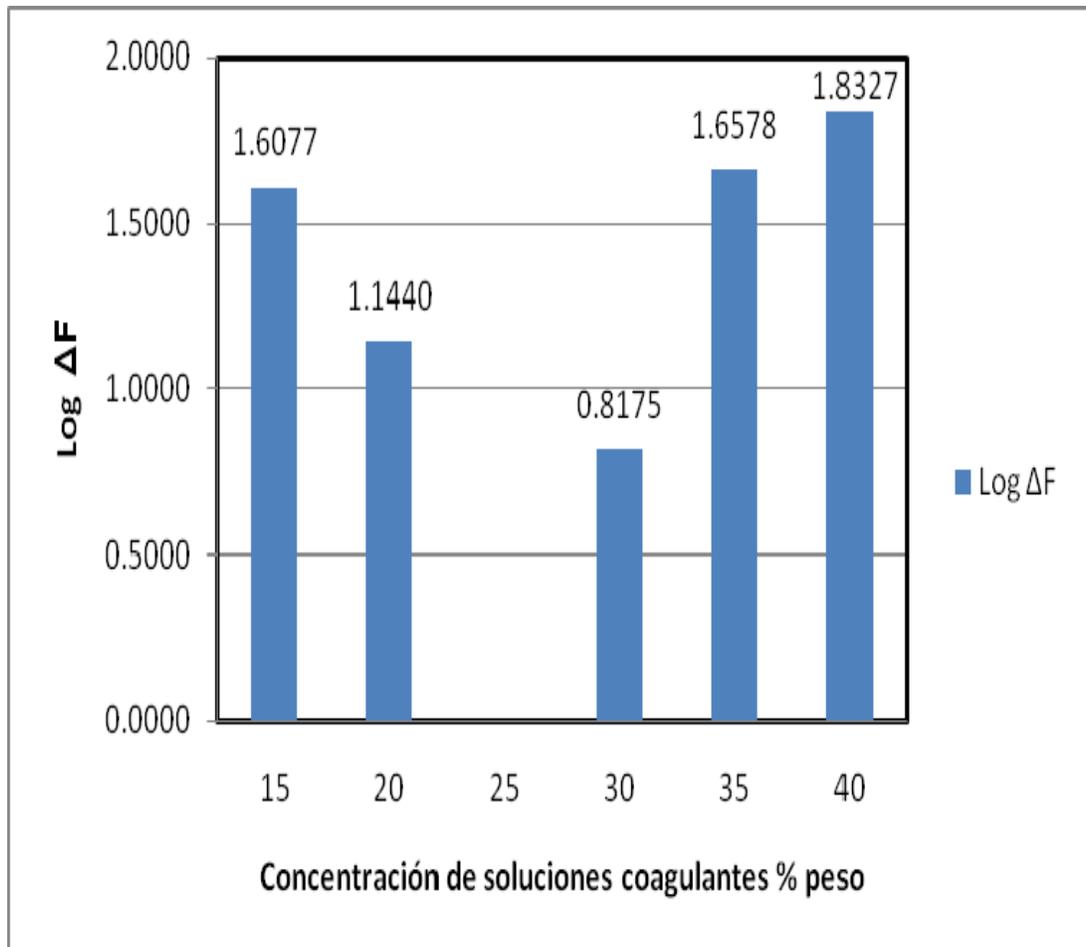
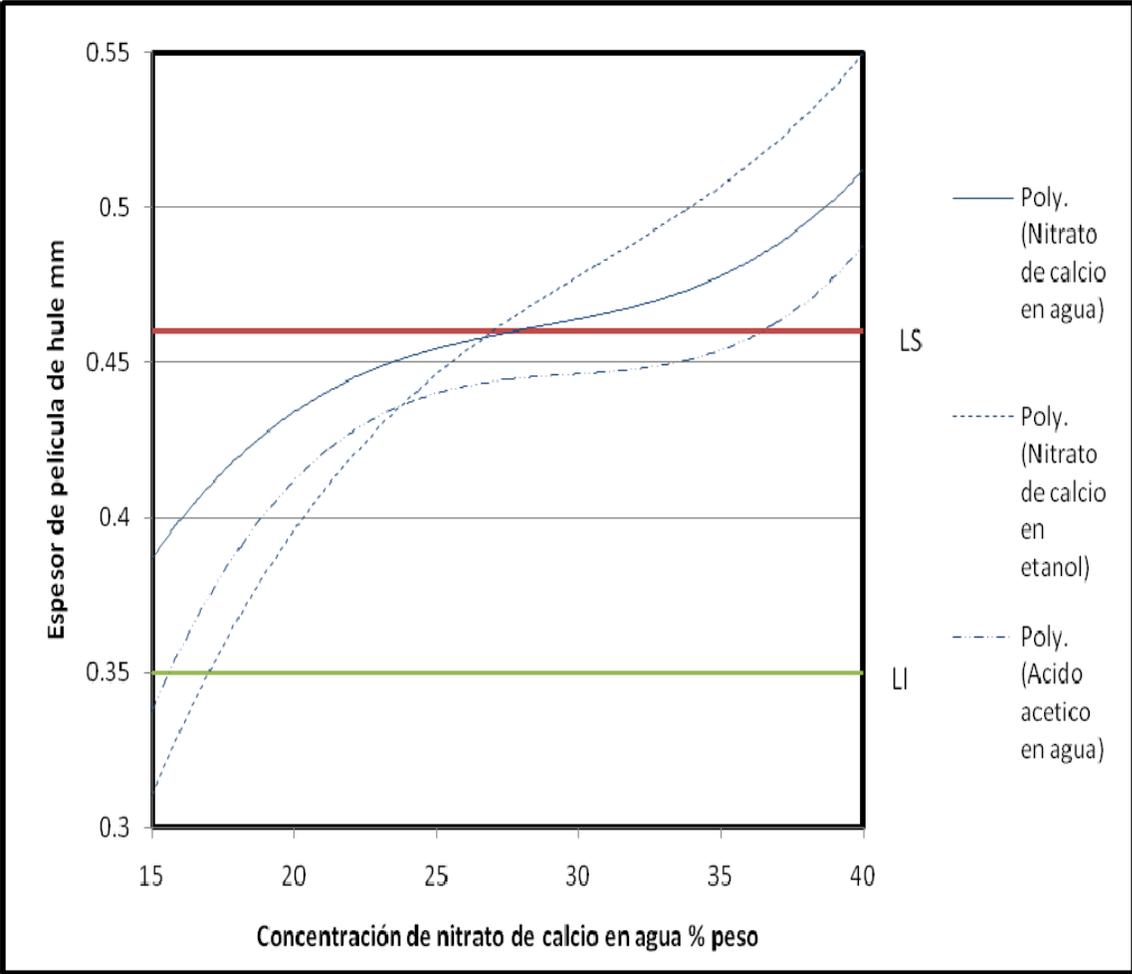


Figura 15. Gráfica de comparación del logaritmo del  $\Delta F$  para cada una de las concentraciones de los tratamientos estudiados y que rinden diferencia significativa.



**Figura 16. Gráfica de respuesta del espesor de película en función de las concentraciones de las tres soluciones coagulantes utilizadas.**



**Figura 17. Gráfica de concentración de nitrato de calcio en agua en función de la gravedad específica.**

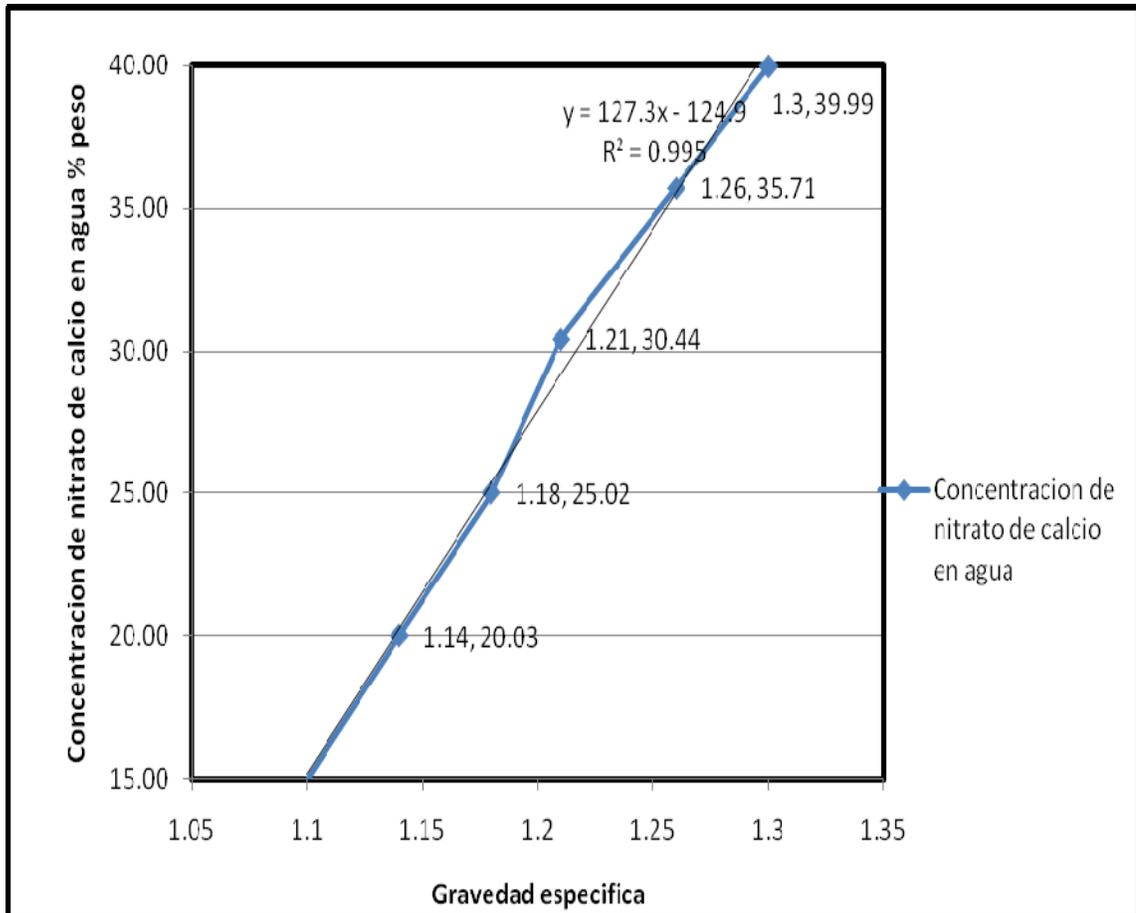
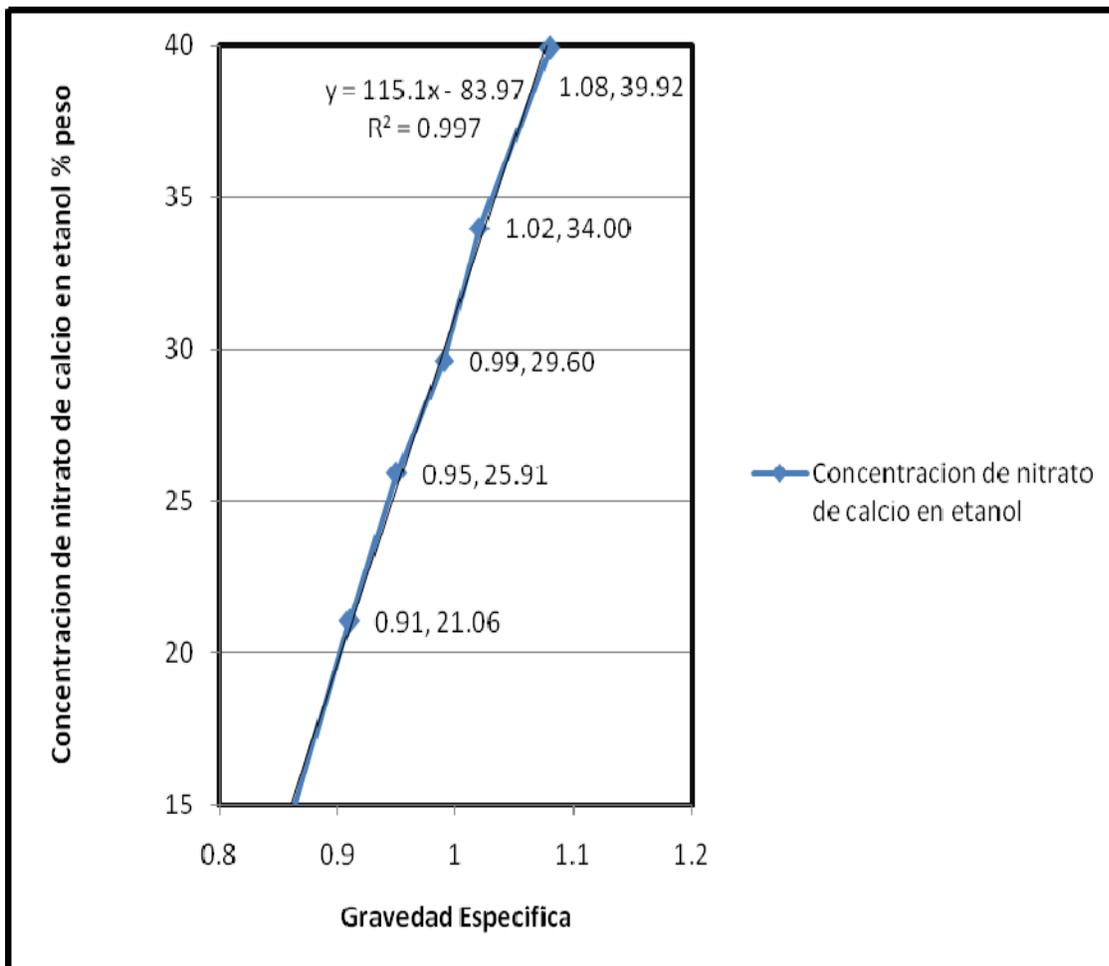
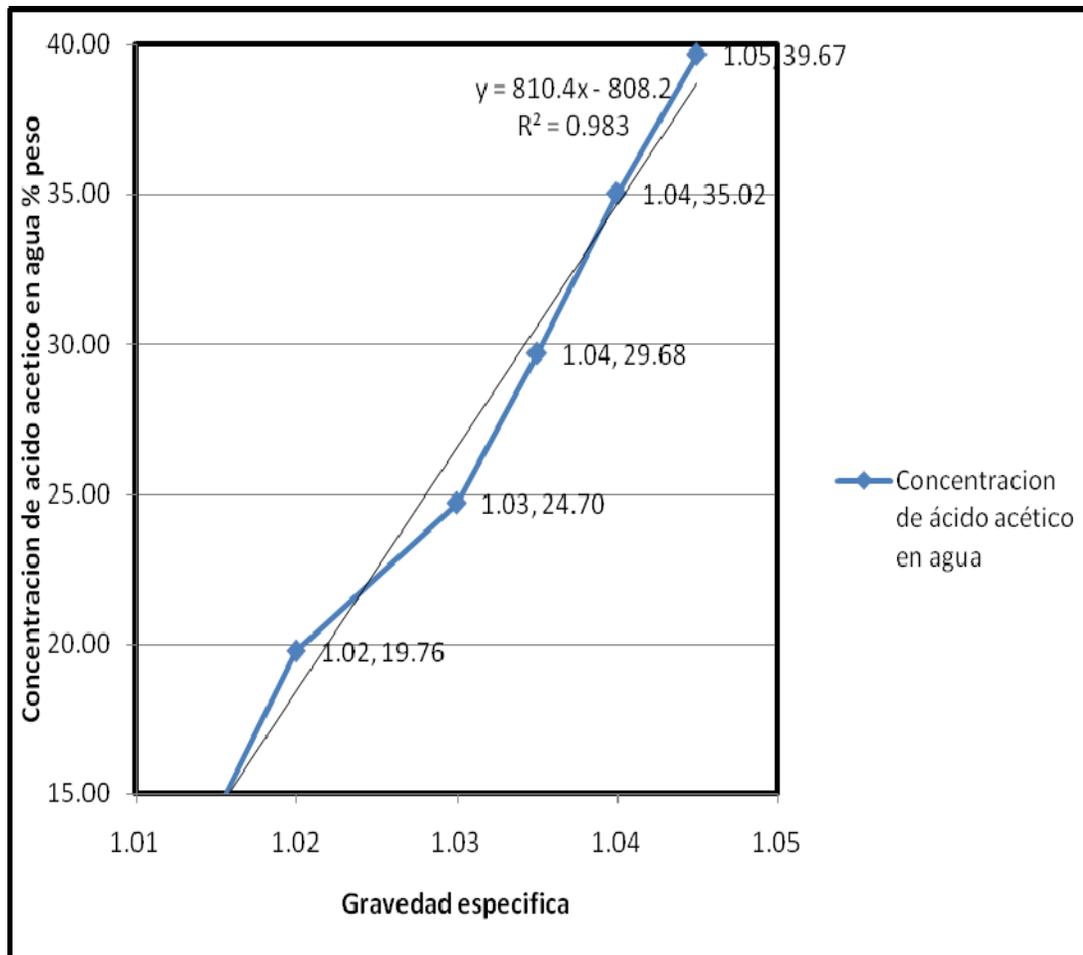


Figura 18. Gráfica de concentración de nitrato de calcio en etanol en función de la gravedad específica.



**Figura 19. Gráfica de concentración de ácido acético en agua en función de la gravedad específica.**



#### **4.4 Discusión de resultados**

En el presente trabajo de graduación se evaluaron tres diferentes soluciones coagulantes recomendadas para la producción de guante tipo doméstico de látex natural por el método de producción de inmersión de moldes. El experimento mantuvo todo el proceso y fórmulas constantes variando el agente coagulante en un rango establecido de concentraciones (15%, 20%, 25%, 30%, 35% y 40%). Los datos resultados fueron los espesores obtenidos para cada uno de las soluciones coagulantes en los porcentajes que se establecieron.

Como primera observación se logro establecer que las tres soluciones coagulantes evaluadas fueron efectivas para la formación de la película de látex, sobre el molde para la producción de guante tipo doméstico de hule natural. También se estableció que cualquiera de las tres soluciones coagulantes evaluadas es capaz de lograr que la película de látex natural, formada sobre el molde, se encuentre dentro de los parámetros establecidos en el mercado para un guante de hule natural tipo doméstico.

El análisis de los datos promedio resultado de cada una de las concentraciones de coagulante por separado, muestra una relación directa entre el aumento de espesor de película alcanzado en el guante final con respecto al aumento de la concentración de la solución coagulante en todos los puntos analizados. Sin embargo cada una de las soluciones coagulantes muestran un comportamiento diferente, en el caso de la solución de nitrato de calcio en agua muestra un rango de 0.385 mm de espesor de película en 15% de concentración de nitrato de calcio hasta un 0.511 mm de espesor de película en 40% de concentración de nitrato de calcio; en el caso de la solución de nitrato de calcio en alcohol etílico muestra un rango de 0.306 mm de espesor de película en 15% de concentración de nitrato de calcio hasta un 0.545 de espesor de película en 40% nitrato de calcio; en el caso de la solución de ácido acético en agua muestra un rango de 0.334 mm de espesor de película en 15% de concentración de ácido acético hasta un 0.484 mm de espesor de película en 40% de concentración de ácido acético. Las gráficas que establecen el comportamiento de la relación del espesor de película alcanzado en función de la concentración de coagulante para cada uno de los casos se muestra en las siguientes figuras 12, 13 y 14. Las ecuaciones obtenidas del espesor en función de la concentración del agente coagulante que correlaciona mejor cada una de las soluciones evaluadas son las siguientes para el rango evaluado con su respectivo factor de correlación:

Solución de nitrato de calcio en agua:

$$\text{Ecuación: } Es = 2E-05Cna^3 - 0.001Cna^2 + 0.05Cna - 0.070$$

Donde: Es = espesor de película de hule

Cna = concentración de nitrato de calcio en agua

$$\text{Factor } R^2 = 0.993$$

Solución de nitrato de calcio en etanol:

$$\text{Ecuación: } Es = 2E-05Cne^3 - 0.002Cne^2 + 0.066Cne - 0.314$$

Donde Es = espesor de película de hule

Cne = concentración de nitrato de calcio en etanol

$$\text{Factor } R^2 = 0.983$$

Solución de ácido acético en agua:

$$\text{Ecuación: } Es = 3E - 0.5Caa^3 - 0.002Caa^2 + 0.084Caa - 0.399$$

Donde: Es = espesor de película de hule

Caa = concentración de ácido acético en agua

$$\text{Factor: } R^2 = 0.972$$

El comportamiento de las tres soluciones coagulantes para las diferentes concentraciones utilizadas no es el mismo, tal es el caso que para la concentración de agente coagulante específica del 25% se muestra que los resultados de espesor de los guantes no tienen una diferencia estadísticamente significativa, ya que el valor F calculado es menor al F crítico (Ver Tabla XVII Y XVIII), por lo tanto es indiferente el uso de cualquiera de los tres para esta concentración de agente coagulante, en función de la habilidad para alcanzar el espesor de película.

Caso contrario se presenta para las otras concentraciones, 15%, 20%, 30%, 35% y 40%; en estas cinco diferentes concentraciones si se establece una diferencia estadísticamente significativa, en estos cinco casos los valores F calculados son mayores a los F críticos (Ver Tablas XI, XII, XIV, XV, XVII, XVIII, XXI, XXIII, XXIV, XXVI y XXVII), sin embargo una diferencia muy notable se obtiene solamente en los casos de las concentraciones del 15%, 20%, 35% y 40%; donde el logaritmo del  $\Delta F$  es mayor que 1 (Ver Figura grafica de  $\Delta F$ ). Estableciéndose con los datos resultados una base de información, para el momento de toma de decisión de la solución coagulante a utilizar en un proceso de producción, permitiendo evaluar cual de las tres soluciones estudiadas permite alcanzar el espesor de película establecido para el proceso de producción por el método de inmersión de moldes, dentro de los parámetros de producción determinados para el proceso experimental realizado en el presente trabajo.

Se puede notar como las ecuaciones de correlación para cada uno de los tratamientos aplicados tienen una convergencia en la concentración del 25% de coagulante (ver figura no. Grafica resultado), así como las tres ecuaciones muestran un punto de inflexión cercano a dicha concentración, suavizándose con diferente tendencia cada una y saliendo de dicha zona de inflexión con diferentes comportamientos.

A cada solución con diferente concentración de coagulante le fue analizada la gravedad específica (véase tabla VI), con esta información se trazaron graficas para cada uno de los casos (nitrato de calcio en agua, nitrato de calcio en alcohol y acido acético en agua), relacionando la ecuación que definiera la dependencia de la gravedad específica de la solución coagulante en función de la concentración del agente coagulante utilizado. En los tres casos se encontró una relación correspondiente a una ecuación lineal, los tres casos ofrecieron un factor de correlación superior a 95%, obteniéndose con esto un nivel de confianza que permite utilizar la ecuación lineal para relacionar la concentración del agente coagulante con la prueba rápida de gravedad específica. (Ver Figuras 17, 18 y 19).

Las ecuaciones de comportamiento para la gravedad específica en función de la concentración de cada uno de los agentes coagulantes en solución, para el rango estudiado con su respectivo factor R, son los siguientes:

Solución de nitrato de calcio en agua:

Ecuación:  $C_{na} = 127.3GE - 124.9$

Donde:  $C_{na}$  = concentración de nitrato de calcio en agua

$GE$  = gravedad específica de la solución

Factor:  $R^2 = 0.995$

Solución de nitrato de calcio en etanol:

Ecuación:  $C_{ne} = 115.1GE - 83.97$

Donde:  $C_{ne}$  = concentración de nitrato de calcio en etanol  
 $GE$  = Gravedad específica de la solución

Factor:  $R^2 = 0.997$

Solución de ácido acético en agua:

Ecuación:  $C_{aa} = 810.4GE - 808.2$

Donde:  $C_{aa}$  = concentración de ácido acético en agua  
 $GE$  = gravedad específica de la solución

Factor:  $R^2 = 0.983$



## CONCLUSIONES

- 1.- Las tres soluciones coagulantes evaluadas pueden ser utilizadas para la fabricación de guante de hule natural tipo doméstico, notándose un comportamiento diferente para cada uno de los agentes coagulantes respecto a los resultados de espesor de película alcanzados en relación de la concentración en la solución. Sin embargo, considerando que las tres soluciones son efectivas, para el rango de espesor de película requerido para la fabricación de guante doméstico de hule natural, variando la concentración del agente coagulante escogido en la misma, se recomienda el uso de la solución de nitrato de calcio en agua, basado en ser la solución coagulante con menores riesgos de corrosión, incendio y manipulación.
- 2.- El espesor de película alcanzado como resultado del proceso de inmersión tiene una dependencia proporcional en función de la concentración de agente coagulante en la solución. A continuación se encuentran las ecuaciones obtenidas con sus respectivos factores de correlación para cada una de las soluciones coagulantes evaluadas:

Solución de nitrato de calcio en agua:

Ecuación:  $Es = 2E-05 Cna^3 - 0.001Cna^2 + 0.052Cna - 0.070$

Donde: Es = espesor de película de hule

Cna = concentración de nitrato de calcio en agua

Factor  $R^2 = 0.993$

Solución de nitrato de calcio en etanol:

Ecuación:  $Es = 2E-05Cne^3 - 0.002Cne^2 + 0.066Cne - 0.314$

Donde Es = espesor de película de hule

Cne = concentración de nitrato de calcio en etanol

Factor  $R^2 = 0.983$

Solución de ácido acético en agua:

Ecuación:  $Es = 3E - 0.5Caa^3 - 0.002Caa^2 + 0.084Caa - 0.399$

Donde: Es = espesor de película de hule

Caa = concentración de ácido acético en agua

Factor:  $R^2 = 0.972$

Las tres soluciones coagulantes estudiadas muestran un punto de inflexión que suaviza la curva, dicha inflexión en los tres casos se encuentra localizada dentro del rango de fabricación del guante tipo doméstico. Esta propiedad garantiza menor respuesta del espesor de película a cambios leves en la concentración del agente coagulante en la solución utilizada.

3.- La gravedad específica de las soluciones coagulantes evaluadas tienen una relación de dependencia proporcional en función de la concentración de agente coagulante en la solución. A continuación se encuentran las ecuaciones lineales con sus respectivos factores de correlación para cada una de las soluciones coagulantes evaluadas:

Solución de nitrato de calcio en agua:

$$\text{Ecuación: } C_{aa} = 127.3GE - 124.9$$

Donde:  $C_{aa}$  = concentración de nitrato de calcio en agua  
 $GE$  = gravedad específica de la solución

$$\text{Factor: } R^2 = 0.995$$

Solución de nitrato de calcio en etanol:

$$\text{Ecuación: } C_{ne} = 115.1GE - 83.97$$

Donde:  $C_{ne}$  = concentración de nitrato de calcio en etanol  
 $GE$  = Gravedad específica de la solución

$$\text{Factor: } R^2 = 0.997$$

Solución de ácido acético en agua:

$$\text{Ecuación: } C_{aa} = 810.4GE - 808.2$$

Donde:  $C_{aa}$  = concentración de ácido acético en agua  
 $GE$  = gravedad específica de la solución

$$\text{Factor: } R^2 = 0.983$$



## RECOMENDACIONES

- 1.- Realizar un estudio sobre la influencia de las soluciones coagulantes evaluadas en la calidad y el costo del guante de hule natural, tipo doméstico producido por el método de inmersión. Con el fin de complementar la información necesaria para la industria en la integración del análisis de costo beneficio en esta área específica.
- 2.- Realizar un estudio con diferentes mezclas de agua y etanol como solvente para diferentes la concentración del 25% (punto de convergencia para los resultados de espesor de película en los diferentes tratamientos) en peso de nitrato de calcio como agente coagulante para determinar los efectos de este tipo de solución en los espesores de película de guantes de hule natural. Agregar en dicho estudio la adición de EDTA como coadyuvante para el proceso posterior de lixiviación en la remoción del calcio de la película de guante.
- 3.- Crear bases de datos que proporcionen información acerca de los productos finales que se producen utilizando como materia prima productos agrícolas nacionales, para que esta información promueva estudios e investigaciones que generen información útil para la evaluación de inversiones a nivel industrial.



## BIBLIOGRAFÍA

1

H. Berkheimer. G. Meyer. The **Vanderbilt Latex Handbook**. (3ª Edición; Estados Unidos: Editorial R.T. Vanderbilt Company Inc. ,1987). 253pp.

2

Blackley, D.C. **Polymer latices, Science and technology**. (2ª Edición; Inglaterra: Editorial Chapman & Hall, 1997). 559pp.

5

Cahueque, Roberto. <http://www.rubber-stichting.info/index.html>. Abril de 2008.

6

Cahueque, Roberto.  
<http://www.rubber-stichting.info/natuurrubber/Natuurrubber%2017.pdf>. Abril de 2008.

7

Manual de Laboratorio **Compañía Hulera de Exportación. Guatemala: 2007.**

8

Montgomery, Douglas. Applied Statistics and Probability for Engineers. (3a Edición, Estados Unidos: Editorial Jon Wiley & Sons, Inc. 2003). 468-472 pp.