



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS TEMPERATURAS DE
COAGULACIÓN DE LÁTEX NITRILO SENSIBILIZADO,
CORRESPONDIENTE A DISTINTAS PROPORCIONES DE
SISTEMA SENSIBILIZANTE**

Julio Roberto Martini Caballeros

Asesorado por el Ing. Cesar Alfonso García Guerra

Guatemala, noviembre de 2008.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS TEMPERATURAS DE
COAGULACIÓN DE LÁTEX NITRILLO SENSIBILIZADO,
CORRESPONDIENTES A DISTINTAS PROPORCIONES DE
SISTEMA SENSIBILIZANTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

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

JULIO ROBERTO MARTINI CABALLEROS

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. Julio I. González Podszueck |
| EXAMINADOR | Ing. Julio Chávez Montufar |
| EXAMINADOR | Ing. Williams Álvarez Mejía |
| EXAMINADOR | Ing. Rodolfo Espinoza Smith |
| SECRETARIO | Ing. Francisco J. González López |

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 EXPERIMENTAL DE LAS TEMPERATURAS DE
COAGULACIÓN DE LÁTEX NITRILO SENSIBILIZADO,
CORRESPONDIENTES A DISTINTAS PROPORCIONES DE
SISTEMA SENSIBILIZANTE,**

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



Julio Roberto Marini Caballeros.



Guatemala, 21 de octubre de 2008.

Ingeniera
Teresa Lisely de León Arana
Coordinadora de Trabajos de Graduación
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimada Ingeniera de León.

Informo a usted que he revisado el Trabajo de Graduación titulado "EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS TEMPERATURAS DE COAGULACIÓN DE LÁTEX NITRILÓ SENSIBILIZADO, CORRESPONDIENTES A DISTINTAS PROPORCIONES DE SISTEMA SENSIBILIZANTE" del estudiante Julio Roberto Martini Caballeros carné No. 83-11484.

Después de haber realizado la revisión del trabajo de graduación y de haber hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,
Ing. JOSÉ ALBERTO GARCÍA GUERRA
PRESIDENTE





Guatemala, 03 de Noviembre de 2008
Ref. EIQ.324.2008

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-004-08-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 JULIO ROBERTO MARTINI CABALLEROS, identificado con carné No. 1983-11484, titulado: "EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS TEMPERATURAS DE COAGULACIÓN DE LÁTEX NITRILADO SENSIBILIZADO, CORRESPONDIENTES A DISTINTAS PROPORCIONES DE SISTEMA SENSIBILIZANTE, 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 Martini Caballeros proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

YO Y ENSEÑAD A TODOS

Inga. Tonja Dely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA

Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE
INGENIERÍA QUÍMICA

C.C. 60340



El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams 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 Julio Roberto Martíni Caballeros titulado "EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS TEMPERATURAS DE COAGULACIÓN DE LÁTEX NITRILO SENSIBILIZADO, CORRESPONDIENTES A DISTINTAS PROPORCIONES DE SISTEMA SENSIBILIZANTE", procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.


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



Guatemala, noviembre de 2008

C.c: 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 EXPERIMENTAL DE LAS TEMPERATURAS DE COAGULACIÓN DE LÁTEX NITRILADO SENSIBILIZADO, CORRESPONDIENTES A DISTINTAS PROPORCIONES DE SISTEMA SENSIBILIZANTE**, presentado por el estudiante universitario Julio Roberto Martini Caballeros, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, noviembre de 2008

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--------------------------------|-------------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | III |
| LISTA DE SÍMBOLOS | V |
| GLOSARIO | VII |
| RESUMEN | XIII |
| OBJETIVOS | XV |
| INTRODUCCIÓN | XVII |

1 MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| 1.1 Sensibilización de látex nitrilo | 1 |
| 1.1.1 Látex nitrilo | 1 |
| 1.1.2 Hoja de datos técnicos | 7 |
| 1.1.3 Fabricación de guantes con látex nitrilo | 8 |
| 1.2 Sensibilizante térmico | 9 |
| 1.2.1 Hoja de datos técnicos | 11 |
| 1.3 Agentes de superficie | 12 |
| 1,3.1 Hoja de datos técnicos | 14 |
| 1.4 Sensibilización de látex nitrilo | 15 |
| 1.4.1 Mecanismo de sensibilización | 16 |

2 MARCO METODOLÓGICO

| | |
|-----------------|----|
| 2.1 Metodología | 17 |
| 2.1.1 Testigo | 17 |

| | |
|---|----|
| 2.1.2 formulación de látex sensibilizado | 19 |
| 2.2 Diseño del experimento | 21 |
| 2.2.1 Diseño estadístico del experimento | 23 |
| 2.3 Procedimiento y recursos | 26 |
| 2.3.1 Descripción del método | 27 |
| 2.3.2 Equipo necesario | 28 |
| | |
| 3 RESULTADOS | |
| 3.1 Presentación de resultados | 29 |
| 3.2 Tratamiento estadístico de los resultados | 33 |
| 3.3 Discusión e interpretación de resultados | 36 |
| | |
| CONCLUSIONES | 43 |
| RECOMENDACIONES | 45 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |
| BIBLIOGRAFÍA | 49 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Estructura de polímero butadieno acrilonitrilo | 2 |
| 2 | Estructura química de poliisopreno | 4 |
| 3 | Estructura química de policloropreno | 6 |
| 4 | Diagrama del proceso de fabricación del guante nitrilo por el método de inmersión | 8 |
| 5 | Diseño estadístico del experimento etapa 1 | 23 |
| 6 | Diseño estadístico del experimento etapa 2 | 24 |
| 7 | Grafica del equipo utilizado | 26 |
| 8 | Gráfica de resultados y correlación de la etapa 1 | 30 |
| 9 | Gráfica de resultados y correlación de la etapa 2 | 32 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I | Diseño del experimento concentraciones de sensibilizante térmico, manteniendo constante la concentración del agente de superficie | 21 |
| II | Diseño del experimento, concentraciones de agente de superficie, manteniendo constante la concentración de sensibilizante térmico | 22 |
| III | Resultados de temperaturas de coagulación, manteniendo constante la concentración de agente de superficie en 0.5 phr y coagulante de 0.5 a 2.5 phr | 29 |
| IV | Resultados de temperaturas de coagulación a distintas concentraciones de agente de superficie, manteniendo constante la concentración de sensibilizante térmico en 0.5 phr | 31 |
| V | Variable respuesta de los 7 tratamientos para análisis de varianza para la etapa 1 | 33 |
| VI | Resumen de análisis <i>anova</i> de la etapa 1 del experimento | 34 |
| VII | Análisis <i>anova</i> de la etapa 1 del experimento | 34 |
| VIII | Variable respuesta de los 7 tratamientos para análisis de varianza para la etapa 2 | 35 |
| IX | Resumen de análisis <i>anova</i> de la etapa 2 del experimento | 35 |
| X | Análisis <i>anova</i> de la etapa 2 del experimento | 36 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------|---------------------------------|
| °C | Grados centígrados |
| pH | Potencial hidrógeno |
| g | gramo |
| K | Kilo |
| % | Porcentaje |
| Phr | Porcentaje referido a hule seco |
| mPas | Milipascales |
| ml | Mililitro |
| C | Carbono |
| H | Hidrógeno |
| Cl | Cloro |
| = | Doble enlace |
| - | Enlace simple |
| → | Reacción |
| ≤ | Menor o igual |
| F | Estadístico razón de Fisher |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------------|---|
| Aditivo | Compuestos químicos utilizados en numerosos ramos de la industria y que se agregan en pequeñas concentraciones a un producto para conferirle alguna propiedad o característica deseada. |
| Adsorción | Es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen |
| Agente de Superficie | Compuestos usados en la industria de látex como aditivos para conferir estabilidad mecánica y térmica de los latices, su función es amortiguar las fuerzas de choque entre las moléculas de caucho. |

ANOVA

Análisis de varianzas por sus siglas en inglés.

Coagulante**Funcional**

Compuestos usados en la industria de látex como aditivos, cuya función es desestabilizar los latices, desestabiliza en función de la temperatura ya que con la elevación de la misma deja de ser soluble en agua y es entonces cuando actúa

Coefficiente de**Solubilidad****Negativo**

Relación entre la solubilidad de un compuesto en determinado solvente, agua por ejemplo y la temperatura de la solución. Aquellos compuestos que son menos solubles a medida que la temperatura aumenta tienen un coeficiente de solubilidad negativo.

Coloide

Partículas tan finas que no sedimentan sino se someten a coagulación previa su tamaño oscila entre 10 y 1000 angstroms

Copolímero

Polímeros que contienen dos o más monómeros a lo largo de las cadenas de sus moléculas.

| | |
|-----------------------|--|
| Emulsión | Mezcla de dos líquidos que normalmente son inmiscibles, dispersión en forma de diminutas gotas en una segunda fase líquida. Puede ser un coloide u otro tipo de mezclas menos estables |
| Higroscopia | Capacidad de absorber humedad, generalmente se refiere a la humedad del medio ambiente. |
| Hipoalergénico | No causa ningún tipo de alergias. |
| Homopolímero | Polímero que se obtiene a partir de solamente un monómero, las cadenas de las moléculas son una repetición reiterada del mismo compuesto. |
| Horma | Molde generalmente de material cerámico o de metal que se utiliza en la fabricación de guantes por el proceso de inmersión en látex. |
| Inmersión | Se refiere al proceso industrial para la fabricación de artículos como guantes en el cual se sumerge una horma en una formulación específica de látex natural o sintético y se forma una película coagulada de látex sobre la misma, al desmoldar la horma se obtiene el artículo. |

Látex**Natural**

Compuesto polímero natural existente en la naturaleza y que se obtiene de la especie *hevea brasiliensis*, árbol que se cultiva con este propósito.

Látex**Nitrilo**

Compuesto copolímero sintético desarrollado con el propósito de sustituir al látex natural por la semejanza de sus propiedades.

Latices

Palabra para indicar el plural de látex.

Monómero

Son los compuestos químicos más sencillos de los que se parte para formar polímeros (mono= uno).

Movimiento**Browiano**

Es el movimiento aleatorio propio de las moléculas en un medio fluido, recibe este nombre en honor a Robert Brown que lo observa en 1827.

Polímero

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. (Griego: polymeros, muchas partes).

Punto de Turbidez

Temperatura a la cual un compuesto deja de ser soluble en determinada solución y la solución se observa turbia.

Sinergia

La sinergia es la integración de elementos que da como resultado algo más grande que la simple suma de éstos, es decir, cuando dos o más elementos se unen sinérgicamente crean un resultado que aprovecha y maximiza las cualidades de cada uno de los elementos.

Temperatura de Coagulación

Temperatura necesaria para aumentar la frecuencia y fuerza de los choques entre moléculas de caucho de tal forma que se formen agregados cada vez más grandes y el látex antes líquido sea ahora un gel.

Vulcanización

Entrecruzamiento de las cadenas de un polímero para mejorar las características elásticas del material.

RESUMEN

En el presente trabajo se determinan las temperaturas de coagulación de una formula de látex nitrilo, en función de la concentración de mezcla coagulante. Los componentes de la mezcla coagulante son agente de superficie y coagulante funcional.

Las determinaciones son experimentales y se utiliza para ellas el método de laboratorio descrito con detalle en el presente informe y que consiste básicamente en calentar el látex sensibilizado de una forma gradual y homogénea hasta lograr que el mismo coagule bajo agitación, midiendo la temperatura correspondiente en el momento exacto en que ocurre la coagulación.

El método se corrió tres veces para cada muestra, al inicio dejando fijo el porcentaje de agente de superficie en 0.5 phr y variando el porcentaje de coagulante funcional en el rango de 0.5 hasta 2 phr en la segunda parte de la fase experimental se mantuvo fijo el porcentaje de Coagulante en 2phr para variar el porcentaje de Agente de superficie de 0.5 a 2.0 phr.

Todo el trabajo estuvo orientado para ser una herramienta a utilizar en la industria de látex y sobre todo en las operaciones de fabricación de objetos por inmersión de hormas.

Además de las temperaturas puntuales de coagulación, se pudo determinar la tendencia de las mismas al variar los porcentajes de ambos componentes de la mezcla de sensibilizante dejando fijo uno de ellos.

Se observa una clara tendencia a la disminución de la temperatura de coagulación cuando se aumenta el coagulante funcional obteniéndose temperaturas de coagulación del látex en el rango de 74 a 58 C. Igualmente la temperatura de coagulación disminuye al aumentar el porcentaje de agente de superficie, sin embargo esta vez la disminución es mucho menos pronunciada obteniéndose temperaturas de coagulación entre 58 y 53 C.

Este trabajo permitirá conocer a que temperatura coagulación una determinada fórmula de látex sensibilizado con una mezcla específica y conocida de sensibilizante. En la optimización de la mezcla a utilizar deberá incluirse un análisis de costos, de ahorro de energía y de condiciones plausibles para cada aplicación específica.

OBJETIVOS

GENERAL

Generar una base de información del comportamiento real de una formula tipo de látex nitrilo sensibilizado al calor que sirve de guía para la toma de decisiones en el momento de fijar la temperatura de operación en una línea de producción industrial para la producción industrial de guantes por inmersión.

ESPECÍFICOS:

1. Obtener por medio de experimentación a nivel laboratorio una serie de datos de temperaturas de coagulación de látex nitrilo correspondiente para igual número de diferentes proporciones de mezcla del sistema coagulante funcional agente de superficie.
2. Establecer una correlación de los datos que permita un mejor aprovechamiento de los resultados de la investigación.

INTRODUCCIÓN

El escenario actual de la industria en general es una fuerte competencia globalizada y la industria del guante no es una excepción, los clientes son cada vez más exigentes y tienen más fácil acceso a los ofertantes de determinado producto a nivel mundial.

Esto determina que las empresas estén obligadas a una permanente búsqueda de innovación y mejora de sus productos, procesos y costes. El uso de latices sintéticos se hace cada vez más importante debido a que con el uso de estas materias primas puede ofrecer productos con características mejoradas a los exigentes mercados.

El látex Nitrilo o látex acrilonitrilo butadieno en particular ofrece productos con mejores resistencia a químicos, aceites y combustibles sobre los productos basados en látex natural e incluso sobre otros latices sintéticos. Sin embargo la dificultad de convertir esta materia prima en productos finales demanda nuevos conocimientos y especialización.

Se hace necesario recurrir a la sensibilización térmica del látex nitrilo para lograr una producción industrial suficientemente rentable si consideramos que sin este recurso el porcentaje de producto no satisfactorio debido a defectos lo haría un proyecto no viable económicamente.

La sensibilización térmica de el látex nitrilo se logra con la combinación de de dos compuestos desarrollados para este propósito un organopolisiloxano como agente sensibilizante a la temperatura y un polyglycol ether como estabilizante del látex.

La forma se sensibilizar el látex se conoce pero no así las proporciones de cada una de ellas, tanto la información técnica comercialmente disponible así como las patentes de las empresas que han desarrollado el sistema son muy imprecisas al definir las concentraciones y las combinaciones de estos dos aditivos.

En el contexto de alta competitividad y exigencia a que están sometidas las empresas este proyecto pretende complementar y potenciar este recurso, determinando experimentalmente las temperaturas de coagulación, de una formula tipo de uso industrial para la fabricación de guantes, a nivel laboratorio según la metodología descrita en este mismo protocolo en la sección 5. Las diferentes temperaturas de coagulación corresponderán cada una a una distinta concentración de los dos compuestos necesarios para la sensibilización.

Los resultados obtenidos del experimento se ordenaran y presentaran de tal forma que sean una guía disponible para la determinación de parámetros de operación de líneas de producción industriales, particularmente la temperatura de las hormas y las concentraciones para cada uno de los compuestos que forma el sistema de sensibilización.

Se pretende también con base a los resultados ofrecer conclusiones y recomendaciones útiles a la industria y a otros investigadores así como reunir en un mismo documento información pertinente al trabajo y a sus objetivos, que se encuentra actualmente dispersa en muchas fuentes.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Sensibilización de látex nitrilo

Es necesario que se definan de una forma mas profunda los términos claves que definen el título y el propósito de este trabajo de manera que a continuación trataremos los temas de látex nitrilo y la sensibilización del mismo a la temperatura con el objetivo de que lo expresado en los siguientes capítulos así como los resultados y las conclusiones tengan el sentido que este trabajo persigue.

1.1.1 Látex nitrilo

Con este nombre que convencionalmente se utiliza en la industria normalmente se designa a un compuesto sintético que exhibe características similares al látex natural, cuando es vulcanizado, este polímero se fabrica en forma de emulsión y puede ser utilizado en muchos procesos donde normalmente se utiliza el látex natural.

La estructura molecular de este polímeros nos muestra que es un copolimero compuesto de la combinación de tres monómeros siendo estos: acrylonitrilo, butadieno y acido carboxílico, como se muestra en la figura 1

hidrocarburos y a las grasa, resistencia que no posee un látex natural cuya nomenclatura es polyisopreno la estructura molecular se muestra en la figura 2

El monómero de butadieno por su parte es el responsable de la suavidad, flexibilidad y de proporcionar a los artículos manufacturados una sensación agradable al tacto, además de jugar un rol en la vulcanización que mejora la cualidad elástica.

La fuerza de tensión, así como la resistencia a la abrasión son incrementadas por la presencia de ácido carboxílico en el polímero, este interactúa con el óxido de zinc que normalmente se utiliza en la formulación de compuestos en la industria esto debido la formación de puentes iónicos entre los grupo de ácido carboxílico y el óxido de zinc.

El látex nitrilo puede ser coagulado en forma de películas utilizando nitrato de calcio al igual que el látex natural pero sin las complicaciones que implican la presencia de proteínas en la natural. Debido a su buena resistencia a la abrasión se genera considerablemente menor cantidad de partículas contaminantes durante los proceso.

El látex nitrilo cuyas cadenas moleculares están inherentemente entrecruzadas no necesita pre cura como si lo necesita el látex natural lo que proporciona una ventaja.

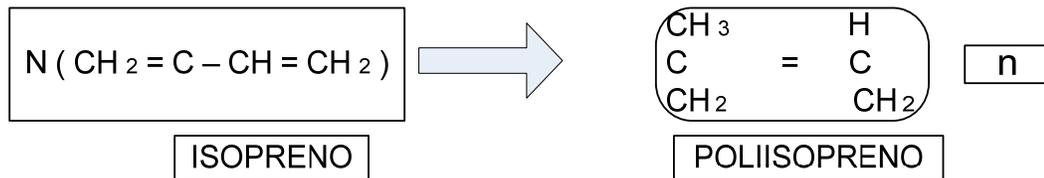
Otra diferencia significativa es la presencia de proteínas en el látex natural donde funcionan como estabilizadores, estas proteínas pueden ser causantes de reacciones alérgicas ya que permanecen en los artículos manufacturados con este. El látex nitrilo no contiene ninguna proteína.

Un polímero o macromolécula puede llegar a tener una masa molecular de miles a millones de gramos y están formados por unidades o monómeros que se repiten en las cadenas.

Entre los polímeros naturales figuran las proteínas, los ácidos nucleicos la celulosa y el hule o polyisopreno. El hule es talvez el polímero mejor conocido y más estudiado además de ser el único polímero hidrocarbonado que se encuentra en la naturaleza.

El látex natural se forma por la adición del radical isopreno, en las reacciones de adición participan compuestos insaturados que contienen dobles o triples enlaces particularmente entre átomos de carbono.

Figura 2. Estructura química de poliisopreno.



Fuente: **Libro química de Chang 7ma. Edición.**

Una propiedad a la vez poco común y útil es la elasticidad el hule se puede estirar mas de 10 veces y regresar a su longitud inicial, el hule sin estirar no tiene patrón regular de difracción de rayos X y por lo tanto es amorfo. Sin embargo el hule estirado presenta un alto grado de cristalinidad y ordenamiento.

La propiedad elástica del hule se debe a la flexibilidad de sus moléculas de cadena larga. Sin embargo, en su estado natural el hule es una maraña de cadenas poliméricas, y si la fuerza externa que se aplica es excesiva las cadenas individuales se deslizan entre ellas y se pierde su elasticidad.

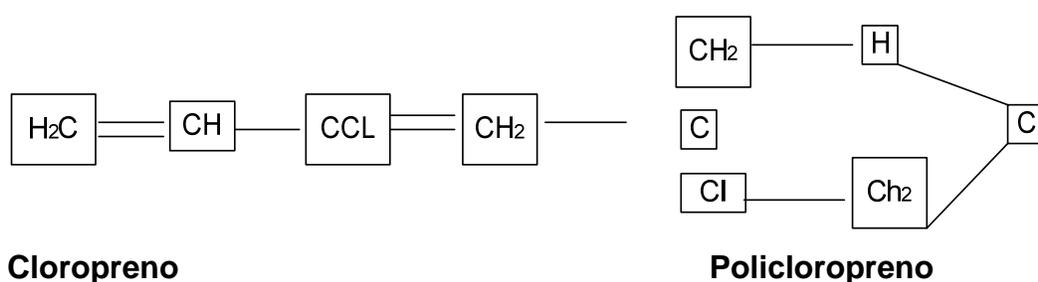
En 1839, Charles Goodyear descubrió que el hule natural o caucho podía entrelazarse con azufre, usando óxido de Zinc como catalizador para evitar el deslizamiento de las moléculas antes descrito.

El proceso conocido como vulcanización, abrió un extenso campo para el uso del látex comercialmente e hizo posible la fabricación de distintos artículos tan disímiles como los neumáticos de automóviles dentaduras postizas y guantes de uso domestico e industrial.

La escasez de látex natural durante la segunda guerra mundial provocó que la búsqueda de un sustituto sintético se viera acelerado y así se inicio un intenso programa con este propósito.

La mayor parte de latices sintéticos, que son conocidos como elastómeros, se elaboran a partir de derivados del petróleo, como el etileno, el propileno y el butadieno. Por ejemplo, las moléculas de cloropreno polimerizan para formar policloropreno, compuesto que se conoce como látex neopreno, cuyas propiedades son comparables e incluso superiores a látex natural

Figura 3. Estructura química de policloropreno.



Fuente: libro Química de chang 7ma edicion

1.1.2 Hoja de datos técnicos

Descripción

Látex copolímero acrilonitrilo butadieno carboxilado conteniendo antioxidantes.

Aplicaciones

Látex diseñado para la fabricación de guantes industriales por medio de coagulación por inmersión. Este látex es suficientemente flexible para ser usado en guantes sin soporte. Puede usarse también como adhesivo para flocka. Ventajas adicionales.

- Excelente propiedad de barrera a químicos
- No contiene proteínas
- Alta fuerza de tensión
- Resistencia superior a abrasión y punción

Especificaciones

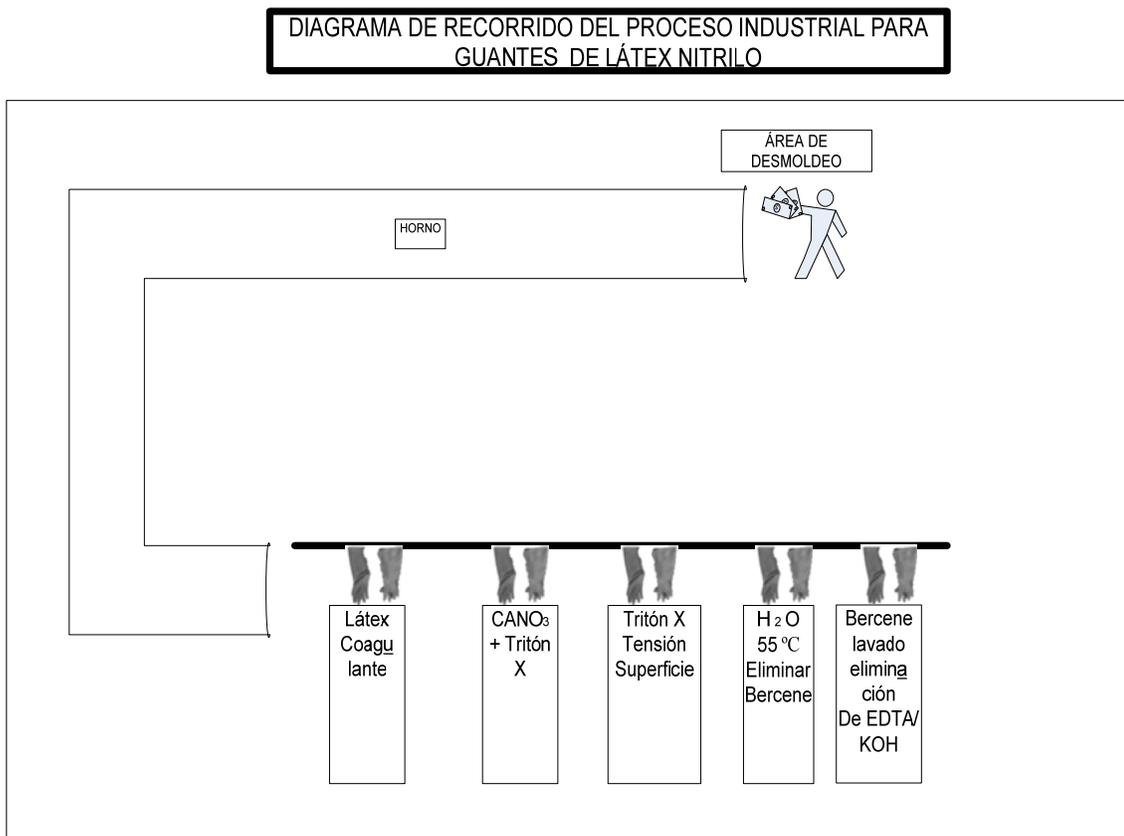
| | | |
|-------------------|------------------|----------|
| Sólidos totales % | 43 +- 1.0 | |
| | pH | 8.0 -8.5 |
| | Viscosidad mPa.s | 15-60 |

Almacenamiento

Este producto debe ser almacenado en contenedores cerrados entre +5 C y 35 C y debe ser protegido de la luz directa del sol.

1.1.3 Fabricación de Guante de Látex Nitrilo

Figura 4. Diagrama del proceso de fabricación de guantes nitrilo por el método de inmersión.



Fuente: **Compañía Hulera de Exportación, S.A., Derechos Reservados.**

La gráfica 4 muestra un procedimiento típico para la fabricación de guantes de látex nitrilo el primer paso es la limpieza de los moldes, lo que se persigue es la eliminación residuos de químicos que puedan quedar en los moldes de ciclos de producción anteriores, luego se pasa por un tanque de agua a 55 C para eliminar el limpiador y calentar las hormas.

El siguiente paso es sumergir los moldes una vez mas ahora en un tanque que contiene un compuesto cuyo propósito es regular la tensión superficial de las hormas para evitar gotas o rajaduras luego de la inmersión en el látex.

Seguidamente una inmersión en una solución de coagulante químico en este caso nitrato de calcio, en este tanque también se calientan la hormas para lograr la coagulación del látex sensibilizado al calor.

Finalmente, las hormas conteniendo ya el coagulante químico se sumerge en el la formulación de látex nitrilo sensibilizado al calor, para luego pasar por un horno donde se vulcaniza y seca el látex sobre la horma para , por último, ser desmoldado el producto en forma ya de guante.

1.2 Sensibilizante térmico

Los coagulantes utilizados en la industria del látex se pueden agrupar en tres clases coagulantes fuertes de acción espontánea, coagulantes que actúan paulatinamente y los coagulantes sensibles a la temperatura.

Los sensibilizantes a la temperatura son aquellos coagulantes que son solubles en agua a temperatura ambiente y a partir de ciertas temperaturas más elevadas se separan lo que provoca la coagulación irreversible del látex.

Con los coagulantes actuales se puede preparar mezclas que coagulen controladamente, estos coagulantes son eficaces sensibilizando el látex natural y los sintéticos.

Este tipo de coagulante con los cuales se persigue la sensibilización de los látex a la temperatura se deben incorporar en mezcla con agente de superficie los que a su vez preferiblemente se presentan en forma de soluciones al 20% es muy importante que el coagulante y el agente de superficie se hayan disueltos mutuamente por completo.

Otra variable que influye sobre la temperatura de coagulación del látex es el pH, en el caso del látex natural también la cantidad de formaldehído necesaria para neutralizar el amoníaco.

Cuando se sumerge un molde calentado previamente y que suelen ser de metal o cerámica para aprovechar su mejor capacidad calorífica y conductividad térmica, la mezcla de látex se calienta en las vecindades de los moldes hasta alcanzar la temperatura de coagulación y se deposita sobre este formando una película uniforme.

En una inmersión se pueden obtener películas entre 0.1 y 2.5 mm en función de la temperatura del molde, el punto de coagulación del compuesto preparado y del tiempo de inmersión.

El hecho de poder lograr estas películas más gruesas permite que el número de inmersiones pueda ser disminuido y supone una ventaja ya que el coagulante nitrato de calcio migra hacia la superficie entre cada inmersión provocando defectos de los artículos, si la película deseada se logra en un mínimo de inmersiones este problema se minimiza al mismo tiempo.

Las cantidades a utilizar de coagulante en un compuesto dependen del tipo de látex y de la aplicación que se le dará al mismo y puede variar entre 0.5 y 5 phr.

1.2.1 Hoja de datos técnicos

Identificación de producto

Organopolisiloxano funcional

Forma de entrega

Líquido amarillento

Características de Producto

| Test | Valor nominal | Unidad | Métodos |
|-------------------|---------------|--------|--------------------|
| pH | 8.5+-1.0 | | Bayer Método 210 A |
| Punto de turbidez | 34+-2 | °C | Bayer Método 116 D |

Información adicional

| Test | Valor Típico | Unidad |
|----------|--------------|-------------------|
| Densidad | 1.03 | g/cm ³ |

Almacenamiento

El sensibilizante debe ser almacenado en su envase original cerrado a temperaturas no más baja de 0 °C y no más alta que 50°C
Almacenar por períodos largos por arriba de los 30 °C debe ser evitado

Empaque

Contenedor metálico de 50 K o Toneles metálicos de 200 K con recubrimiento interno.

1.3 Agentes de superficie

Los agentes de superficie o estabilizantes se agrupan en dos grupos principales, los aniónicos y los no ionogénicos entre los primeros se encuentran las sales alcalinas de ácidos grasos principalmente.

El tipo del estabilizante utilizado en esta investigación como segundo componente de la mezcla sensibilizante a la temperatura pertenece al grupo de los no ionogénicos estos son productos de condensación de alcoholes de cadenas largas o de ácidos grasos de alto peso molecular, con óxido de etileno.

Los látexes están formados por infinidad de partículas de caucho o de moléculas de polímeros dispersas en medio acuoso estas partículas tienen una carga que puede ser positiva o negativa según el tipo de emulsificante que se haya utilizado, el hecho que todas las partículas tengan la misma carga evita que al chocar entre sí por el movimiento browniano natural en los polímeros ya sean naturales o sintéticos, las mismas se unan y formen conglomerados de moléculas que al seguir creciendo finalmente llevarían a la coagulación.

Este estado estable del látex puede ser alterado si el mismo se somete a esfuerzo mecánico fuerte o a incremento de temperatura el efecto en ambos casos es que la velocidad y el número de choques aumentan a tal punto que la repulsión electrostática puede ser superada y llegar a la coagulación.

Otra posible causa de coagulación es que al agregar algunos productos químicos se elimina la carga electrostática y la repulsión falla. Los agentes de superficie actúan amortizando los efectos de la desestabilización de los látexes debido a las posibles causas ya mencionadas en esta misma sección.

Este tipo de estabilizantes se agregan en forma de soluciones acuosas al 10-20%.

1.3.1 Hoja de datos técnicos

Identificación de producto éter poliglicólico aromático

Forma de entrega líquido amarillento - café

Características de Producto

| Test | Valor nominal | Unidad | Metodos |
|--|---------------|--------|---|
| pH | 7.5+-1.0 | | Bayer Método 210 |
| Punto de turbidez 1% en agua | 62+-3 | °C | A |
| Contenido de agua (Karl Fischer) | ≤ 0.5 | % | Bayer Método 116 D Bayer Método 109 |

Almacenamiento El éter poliglicólico aromático debe ser almacenado en su envase original cerrado a temperaturas entre – 15 °C y 50°C.

Empaque Contenedor metálico de 60 K o toneles metálicos de 230 K con recubrimiento interno. Vida de anaquel 1 año.

1.4 Sensibilización de látex nitrilo

Una vez profundizados los conceptos de látex nitrilo, de sensibilizante al calor y de agente de superficie podemos dar una descripción de lo que en este trabajo definimos como la sensibilización térmica de un látex nitrilo.

Nos referimos a sensibilización térmica de un látex nitrilo al proceso mediante el cual un látex nitrilo formulado con todos los compuestos químicos que le confieren la capacidad de ser utilizado como material que será transformado en artículo por inmersión, lo que incluye: colorantes, preservante, antiespumantes y vulcanizantes entre otros, es convertido por adición de un polysiloxano y de un éter aromático en un material sensible al calor.

Una descripción exacta de todos los compuestos y las proporciones en que agregan en la formulación de un látex nitrilo se encuentra en el capítulo de metodología descrito como fórmula madre o testigo.

Sobre esta fórmula madre o testigo se añade el coagulante funcional de forma pura y el agente de superficie en solución acuosa al 20 %.

Con la adición combinada de estos dos elementos el látex formulado adquiere su capacidad de coagular a una temperatura dada y se dice entonces que es un látex nitrilo sensibilizado al calor.

1.4.1 Mecanismo de coagulación

Como coagulación de látex nitrilo debemos entender que el producto que es líquido en su estado normal pasa a un estado de gel en este caso por el rompimiento de un equilibrio coloidal.

Tanto el látex nitrilo como un látex nitrilo formulado son en realidad emulsiones de un polímero que en primera instancia es insoluble en agua decir una dispersión coloidal del polímero en medio acuoso.

Cualquier compuesto químico que altere la dispersión coloidal o cualquier variación del pH que haga lo mismo provocara que el látex nitrilo coagule. De la misma manera un sensibilizante térmico altera y rompe la dispersión.

Los coagulantes térmicos exhiben un comportamiento tal que su solubilidad en agua es inversamente proporcional a la temperatura, es decir que al subir la temperatura de la solución estos son cada vez menos solubles llegando a un punto en que son insolubles totalmente conocido como punto de turbidez.

Esta propiedad es la que se aprovecha ya que al dejar de ser solubles estos elementos como el polisiloxano se precipitan como sólidos de tal forma que se adhieren sobre las moléculas del polímero acrilonitrilo emulsionado en agua y esto provoca que el coloide se rompa coagulando inmediatamente.

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Metodología

Para ejecutar la parte experimental de este trabajo se diseñó el procedimiento correspondiente fabricando un testigo o formula madre sobre la cual se variarían los porcentajes de los dos agentes que conforman el sistema sensibilizante térmico, de la siguiente forma:

2.1.1 Testigo

El testigo o fórmula base es lo más cercano y contiene todos los elementos normalmente usados en la industria de guantes por inmersión, se formulará cantidad suficiente para todas las corridas experimentales para guardar la mayor uniformidad posible y evitar cualquier variación o error de tipo humano.

A continuación la fórmula utilizada como testigo:

| | |
|---------------|-------|
| Látex nitrilo | 44% |
| Premezcla | |
| Oxido de zinc | 47.37 |
| Sulfuro | 50.00 |
| Zetax | 48.26 |

| | |
|------------------|------|
| Premezcla | |
| Preservante para | |
| Sistema alcalino | 100% |
| Agua | 100% |

Añadir lentamente

| | |
|--------------------|-------|
| Colorante verde | 100% |
| Agua | 100% |
| Tensoactivo | 20% |
| Agua | 20% |
| Dióxido de titanio | 48.61 |

2.1.2 Formulación de látex sensibilizado

En base a este testigo se prepararan muestras de 300g de la siguiente forma:

Para las siguientes concentraciones:

| | |
|----------------------|---------|
| Agente de superficie | 0.5 phr |
| Coagulante | 0.5 phr |

Se formula así :

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Testigo | 285.23 g |
| Agua | 11,24 g |
| Agente de superficie | 2.94 g (solución al 20%) |
| Coagulante | 0.59 g |

Total: 300g de mezcla sensibilizada a la temperatura

Para las siguientes concentraciones:

| | |
|----------------------|----------|
| Agente de superficie | 0.5 phr |
| Coagulante | 0.75 phr |

Se formula así:

| | |
|----------------------|------------------------|
| Testigo | 284.94 |
| Agua | 11,24 |
| Agente de superficie | 2.94 (solución al 20%) |
| Coagulante | 0.88 |

Total 300g de mezcla sensibilizada a la temperatura

De igual forma se formularon muestras de mezclas de látex nitrilo, utilizadas en la fabricación de guante industrial por medio de inmersión de hormas, de tal forma que cubriéramos en rango de concentraciones que decidimos estudiar desde el principio de este trabajo. (Ver Tabla I).

2.2 Diseño del experimento

Tabla I. Diseño del experimento concentraciones de sensibilizante térmico manteniendo constante la concentración del agente de superficie.

| | Agente se superficie (phr) | Sensibilizante térmico (phr) |
|-----------|---------------------------------------|---|
| Muestra 1 | 0.5 | 0.5 |
| Muestra 2 | 0.5 | 0.75 |
| Muestra 3 | 0.5 | 1.0.5 |
| Muestra 4 | 0.5 | 1.25 |
| Muestra 5 | 0.5 | 1.5 |
| Muestra 6 | 0.5 | 1.75 |
| Muestra 7 | 0.5 | 2.0 |

Fuente **Investigación de campo.**

Manteniendo constante la concentración de agente de superficie y variando en intervalos de 0.25 phr el coagulante empezando en 0.5 phr como concentración mínima y tomando 2.0 phr como concentración máxima.

Después de completar las determinaciones de estas 7 muestras por triplicado se procede a variar la concentración de agente de superficie, manteniendo esta vez constante el valor de coagulante en 2.0 phr.

(Ver tabla II).

Tabla II. Diseño del experimento, concentraciones de agente de superficie manteniendo constante la concentración de sensibilizante térmico.

| | Agente de superficie (phr) | Sensibilizante térmico (phr) |
|-----------|---------------------------------------|---|
| Muestra 1 | 0.5 | 2.0 |
| Muestra 2 | 0.75 | 2.0 |
| Muestra 3 | 1.0 | 2.0 |
| Muestra 4 | 1.25 | 2.0 |
| Muestra 5 | 1.5 | 2.0 |
| Muestra 6 | 1.75 | 2.0 |
| Muestra 7 | 2.0 | 2.0 |

Fuente: **Investigación de campo.**

Igualmente se procedió a preparar las muestras de 300g para luego coagular la porción de 75g y determinar la temperatura de los 7 puntos por triplicado.

Para la muestra 1 que corresponde a 2.0 phr de coagulante y 0.75 phr de agente de superficie la preparación de 300g es la siguiente:

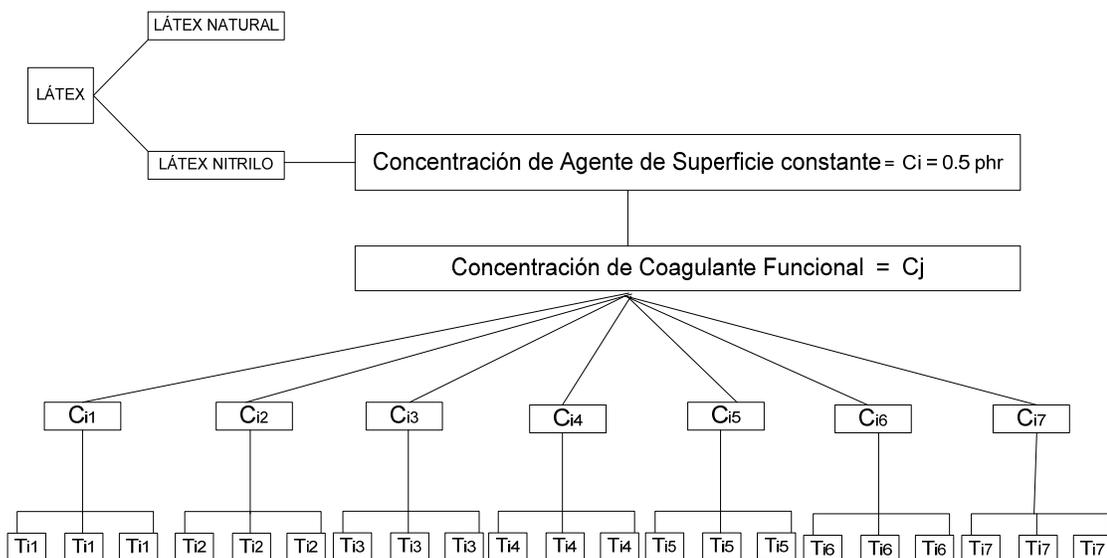
| | |
|----------------------|---------|
| Testigo | 285.0 g |
| Agua | 9.8 g |
| Agente se superficie | 4.39 g |
| Coagulante | 2.34 g |

Las corridas correspondientes a la primer tabla de esta metodología se harán en un mismo día y con exactamente el mismo equipo y un día inmediato siguiente se harán todas las corridas correspondientes a la segunda tabla también con el mismo equipo y realizados por la misma persona para minimizar y neutralizar posibles desviaciones por la subjetividad propia de las mediciones.

Los resultados obtenidos se describen por medio de temperatura en centígrados y el promedio de los mismos. Además los resultados serán presentados en forma de gráficas se establecerá una ecuación que correlacione los datos.

2.2.1 Diseño estadístico del experimento

Figura 5. Diseño estadístico del experimento etapa 1



Variable respuesta = temperatura de coagulación T_{ij}

Nivel superior para $C_j = 2$ phr

Nivel inferior para $C_j = 0.5$ phr

Amplitud = 0.25 phr

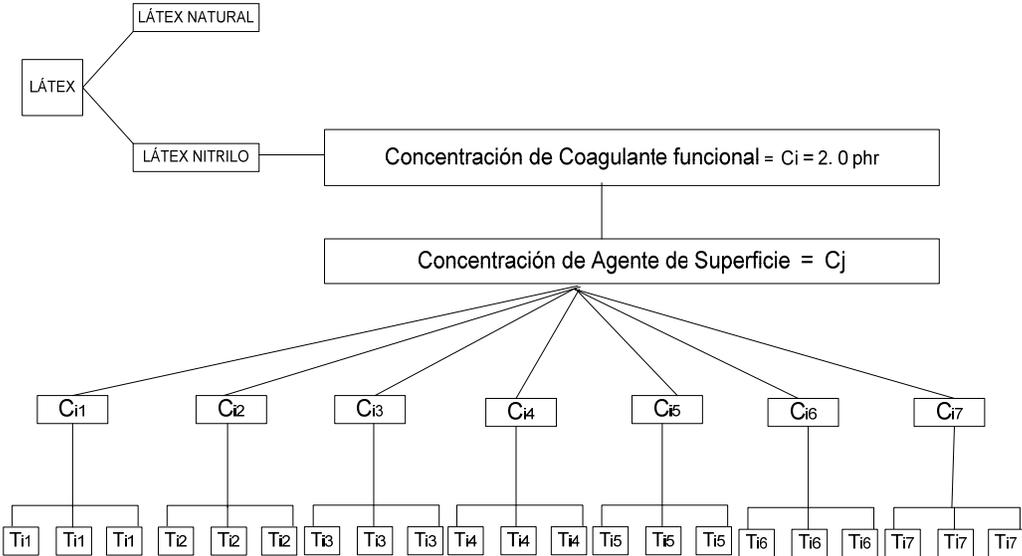
Número de tratamientos = 7

Número de repeticiones = 3

Total datos variables obtenidos = 21

Bajo este esquema se realizara un análisis de varianza para la etapa 1

Figura 6. Diseño estadístico del experimento etapa 2



Variable respuesta = temperatura de coagulación T_{ij}

Nivel superior para $C_j = 2$ phr

Nivel inferior para $C_j = 0.5$ phr

Amplitud = 0.25 phr

Número de tratamientos = 7

Número de repeticiones = 3

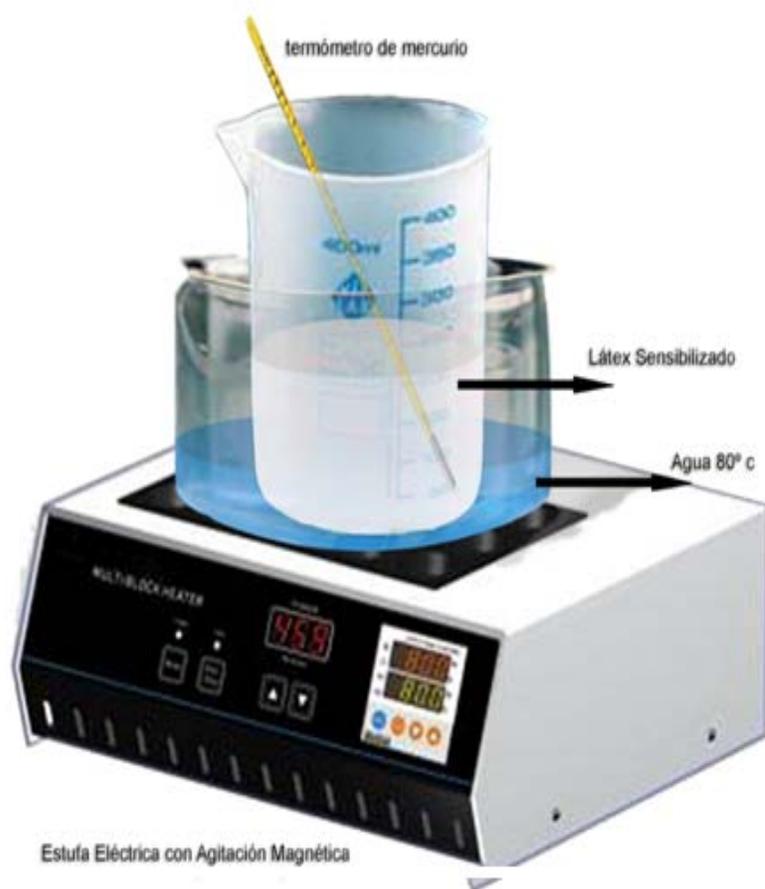
Total datos variables obtenidos = 21

Bajo este esquema se realizara un análisis de varianza parta la etapa 2

Con los datos obtenidos que son 7 combinaciones de concentraciones con 3 repeticiones se establecerá por medio del método de mínimos cuadrados una correlación que permita expresar de forma conjunta los resultados en una sola ecuación cuyo coeficiente de correlación este por arriba 0.95.

2.3 Procedimiento y recursos

Figura 7. Gráfica del equipo utilizado para la determinación de las temperaturas de coagulación.



Fuente: Investigación de campo.

2.3.1 descripción de método

Luego de la muestra inicial de 300g se tomaron 75 g de latex sensibilizado al calor en un beacker de 80 ml lo cuales se calentaron lentamente bajo agitación inmersas en un baño de agua hasta 2/3 de la altura del beacker el agua esta contenida en un beacker de 600 ml. El agua se calienta a su vez por medio de una estufa eléctrica y se mantiene a una temperatura de 80 C.

El aumento de temperatura se monitorea por medio de un termómetro de mercurio sumergido directamente es la mezcla de látex.

La temperatura de coagulación del látex es fácilmente determinada mediante la lectura de temperatura del termómetro en el momento en que la mezcla de látex gelifica.

El látex coagula empezando de las paredes del beacker hacia el centro se tomará como temperatura de coagulación la lectura del termómetro en el momento que el látex coagule en el centro del beacker.

2.3.2 Equipo e insumos necesarios

Sensibilizante térmico

Solución de agente de superficie al 20%

Látex nitrilo sensibilizado al calor

Beacker de 600 ml

Beacker de 80 ml

Termómetro de bulbo, especificaciones:

Marca total inmersión, líquido mercurio de - 20 °C a 150 °C

Incremento en escala 1 grado centígrado

Balanza electrónica, especificaciones:

Marca: OHAUS, modelo: TS4-FKD, serie 2428, capacidad 4,000 g

Estufa de calentamiento, especificaciones:

Marca: Corning, modelo: PC320, voltaje: 575 watts, serie: 04040173

Frecuencia: 60 Hertz

Agitador de imán

Pedestal

3. RESULTADOS

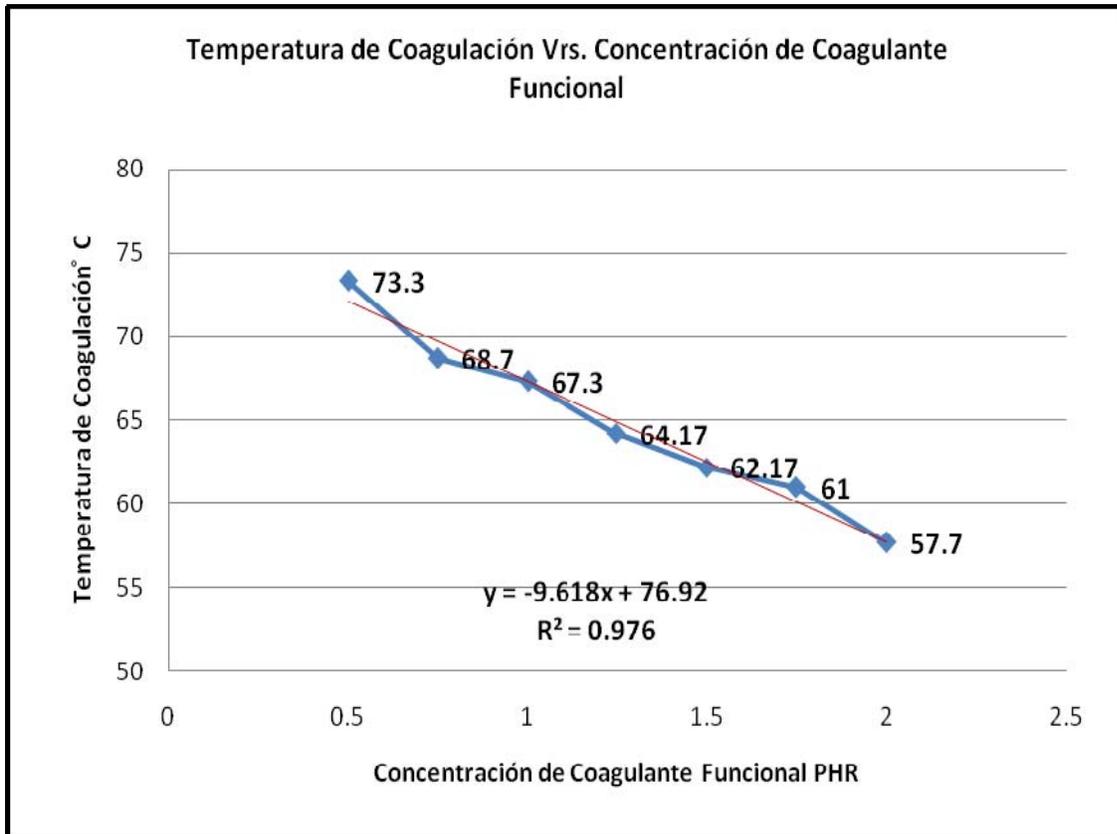
3.1 Presentación de resultados

Tabla III. Resultados de temperaturas de coagulación manteniendo constante la concentración de agente de superficie en 0.5 phr y coagulante de 0.5 a 2.5 phr.

| Concentración de coagulante térmico (phr) | Temp. °C | Temperatura Promedio °C |
|---|----------|-------------------------|
| 0.50phr | 74 | 73.3 |
| | 72 | |
| | 73 | |
| 0.75phr | 69 | 68.7 |
| | 68 | |
| | 69 | |
| 1.0 phr | 67 | 67.3 |
| | 68 | |
| | 67 | |
| 1.25 phr | 64 | 64.17 |
| | 64.5 | |
| | 64 | |
| 1.50 phr | 62 | 62.17 |
| | 62.5 | |
| | 62 | |
| 1.75 phr | 61 | 61 |
| | 61 | |
| | 61 | |
| 2.0 phr | 58 | 57.7 |
| | 57 | |
| | 58 | |

Fuente: Investigación de Campo.

Figura 8. Gráfica de resultados y correlación de la etapa 1.



Fuente: Investigación de Campo

La ecuación lineal $y = -9.618x + 76$ correlaciona los resultados obtenidos donde:

Y= Temperatura de coagulación

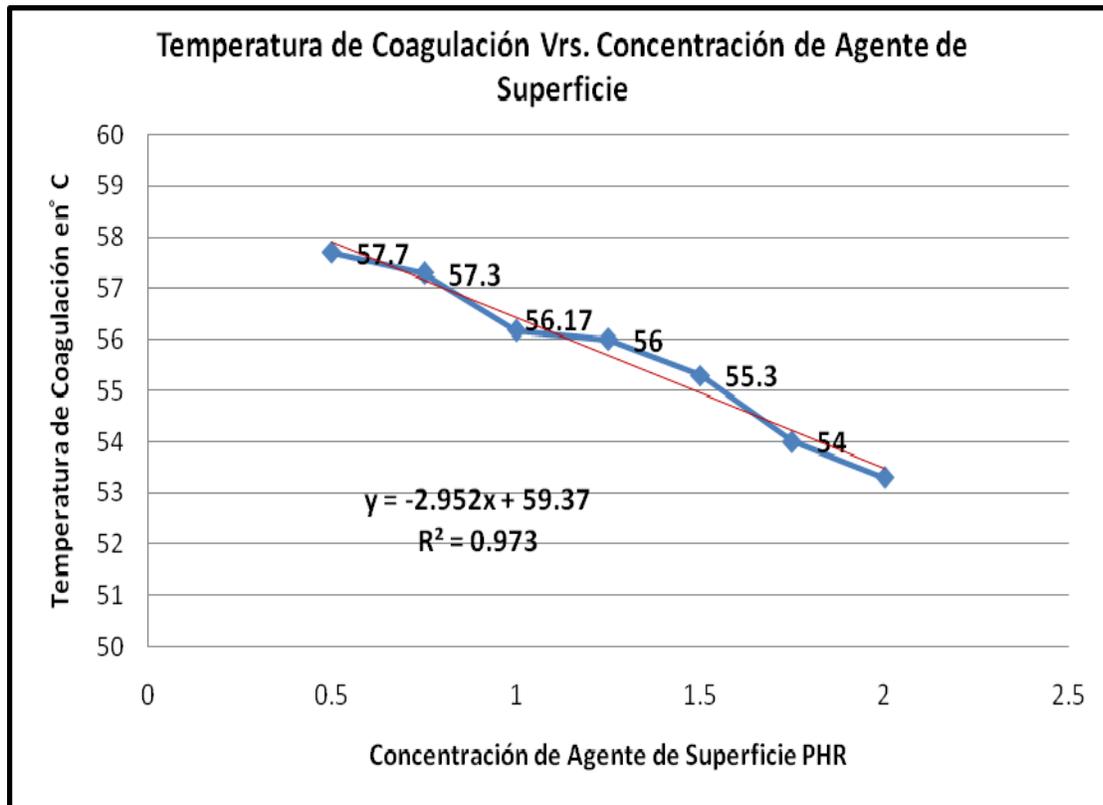
X= Concentración de coagulante en phr

Tabla IV. Resultados de temperaturas de coagulación a distintas concentraciones de agente de superficie manteniendo constante la concentración de sensibilizante térmico en 0.5 phr.

| Concentración de Agente de superficie (phr) | Temp. C | Temperatura Promedio C |
|--|----------------|-------------------------------|
| 0.50phr | 58 | 57.7 |
| | 58 | |
| | 57 | |
| 0.75phr | 57 | 57.3 |
| | 57 | |
| | 58 | |
| 1.0 phr | 56 | 56.17 |
| | 56 | |
| | 56.5 | |
| 1.25 phr | 56 | 56 |
| | 56 | |
| | 56 | |
| 1.50 phr | 55 | 55.3 |
| | 55 | |
| | 56 | |
| 1.75 phr | 54 | 54 |
| | 54 | |
| | 54 | |
| 2.0 phr | 54 | 53.3 |
| | 53 | |
| | 53 | |

Fuente: Investigación de Campo

Figura 9. Gráfica de resultados y correlación de la etapa 2.



Fuente: Investigación de Campo

La ecuación lineal $y = -2.952x + 59.37$ correlaciona los resultados obtenidos donde:

Y= Temperatura de coagulación

X= Concentración de agente de superficie r

3.2 Tratamiento estadístico de los resultados

Adicionalmente, se calculó con la variable respuesta un análisis de varianza o ANOVA, 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 la concentración el factor a variar. Se determinó el estadístico F para cada etapa del diseño esto para determinar si el efecto del cambio de la concentración es significativo sobre la temperatura de coagulación.

Tabla V. Variable respuesta de los 7 tratamientos para análisis de varianza unifactorial para la etapa 1

| Observaciones | TRATAMIENTO | | | | | | |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 74 | 69 | 67 | 64 | 62 | 61 | 58 |
| 2 | 72 | 68 | 68 | 64.5 | 62.5 | 61 | 57 |
| 3 | 73 | 69 | 67 | 64 | 62 | 61 | 58 |
| Suma | 219 | 206 | 201 | 192.5 | 186.5 | 183 | 173 |
| Valor medio | | | | | | | |
| X | 73.00 | 68.67 | 67.00 | 64.17 | 62.17 | 61.00 | 57.67 |
| n | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Media aritmética de todos los resultados: 64.81 | | | | | | | |
| Número total de resultados: 21 | | | | | | | |

Fuente: **Investigación de campo.**

Tabla VI. Resumen de análisis *anova* de la etapa 1 del experimento.

Resumen

| <i>Grupos</i> | <i>Observaciones</i> | <i>Suma</i> | <i>Promedio</i> | <i>Varianza</i> |
|---------------|----------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Columna 1 | 3 | 219 | 73 | 1 |
| Columna 2 | 3 | 206 | 68.666667 | 0.333333 |
| Columna 3 | 3 | 202 | 67.333333 | 0.333333 |
| Columna 4 | 3 | 192.5 | 64.166667 | 0.083333 |
| Columna 5 | 3 | 186.5 | 62.166667 | 0.083333 |
| Columna 6 | 3 | 183 | 61.000000 | 0.000000 |
| Columna 7 | 3 | 173 | 57.666667 | 0.333333 |

Tabla VII. Análisis *anova* de la etapa 1 del experimento.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Media Cuadrática</i> | <i>F calculado</i> | <i>F crítico</i> | ΔF | $\text{Log } \Delta F$ |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|------------------|------------|------------------------|
| Entre grupos | 483.73809 | 6 | 80.623016 | 260.47435 | 2.84772 | 257.626 | 2.4109 |
| Dentro de Grupos | 4.333333 | 14 | 0.309524 | | | | |
| Total | 488.07142 | 20 | | | | | |

Tabla VIII. Variable respuesta de los 7 tratamientos para análisis de varianza diseño unifactorial para la etapa 2

| Observaciones | TRATAMIENTO | | | | | | |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 58 | 57 | 56 | 56 | 55 | 54 | 54 |
| 2 | 58 | 57 | 56 | 56 | 55 | 54 | 53 |
| 3 | 57 | 58 | 56.5 | 56 | 56 | 54 | 53 |
| Suma | 173 | 172 | 168.5 | 168 | 166 | 162 | 160 |
| Valor medio X | 57.67 | 57.33 | 56.17 | 56.00 | 55.33 | 54.00 | 53.33 |
| n | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Media aritmética de todos los resultados: 55.69 Número total de resultados: 21 | | | | | | | |

Fuente: Investigación de campo.

Tabla IX. Resumen de análisis *anova* de la etapa 2 del experimento.

Resumen

| Grupos | Observaciones | Suma | Promedio | Varianza |
|-----------|---------------|-------|-----------|----------|
| Columna 1 | 3 | 173 | 57.666667 | 0.333333 |
| Columna 2 | 3 | 172 | 57.333333 | 0.333333 |
| Columna 3 | 3 | 168.5 | 56.166667 | 0.083333 |
| Columna 4 | 3 | 168 | 56.000000 | 0.000000 |
| Columna 5 | 3 | 166 | 55.333333 | 0.333333 |
| Columna 6 | 3 | 162 | 54.000000 | 0.000000 |
| Columna 7 | 3 | 160 | 53.333333 | 0.333333 |

Tabla X. Análisis anova de la etapa 2 del experimento.

| <i>Fuente de observación</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Media cuadrática</i> | <i>F calculado</i> | <i>F crítico</i> | <i>ΔF</i> | <i>Log ΔF</i> |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Entre grupos | 46.404762 | 6 | 7.734127 | 38.215686 | 2.847726 | 35.367959 | 1.548609 |
| Dentro de grupos | 2.833333 | 14 | 0.202381 | | | | |
| Total | 49.238095 | 20 | | | | | |

3.3 Discusión e interpretación de resultados

En el presente trabajo se determinaron experimentalmente las temperaturas de coagulación de látex nitrilo o acrilonitrilo butadieno carboxilado para una serie determinada de diferentes combinaciones de coagulante orgno polisiloxano y agente de superficie o poliglicol eter como mezcla sensibilizante. (Ver tablas I y II)

Los resultados de temperaturas de coagulación, muestran primeramente que con el método propuesto se logra una muy buena repetibilidad de los datos ya que en los 14 distintos tratamientos que implican a su vez 42 mediciones de a temperatura de coagulación del látex formulado utilizado en este trabajo, la discrepancia nunca es mayor a 1 grado centígrado. (Ver tablas III y IV)

De los resultados se observa que para las concentraciones bajo las cuales se delimitó el diseño del experimento, las temperaturas de coagulación están dentro 73 °C a 53 °C , esto significa que el uso de látex sensibilizado, permite operaciones manejables en la industria , sobre todo si consideramos que para coagular un compuesto de látex por medio de temperatura sin el uso de los sensibilizantes, necesitaríamos una temperatura por arriba de los 100 grados centígrados, la cual evidentemente esta fuera de una realización practica a nivel industrial.

De la tabla III donde se presentan los resultados experimentales de las temperaturas de coagulación, cuando se mantiene fija la concentración de agente de superficie a 0.5 phr , observamos que en el rango analizado de 0.5phr a 2.0 phr de coagulante, la temperatura es inversamente proporcional a la concentración, de tal forma que cada vez que aumentamos la concentración en un 0.5 la temperatura de coagulación disminuye en el orden de 3 grados centígrados.

El hecho que la tempetura de coagulación disminuya al aumentar la concentración de de coagulante esta de acuerdo con la teoría ya que para coagular un látex hay que vencer la fuerza de repulsión que existe entre las moléculas del mismo que tiene todas una misma carga, esto se provoca por medio de estabilizantes en el proceso primario de la obtención de los látex.

Esta fuerza de repulsión se puede contrarrestar con el incremento de energía en el látex ya sea por medio de esfuerzos mecánicos o por incremento de la temperatura.

El incremento de la energía en este caso cinética provoca el choque entre moléculas que vence la repulsión entra carga del mismo signo además del efecto de los estabilizantes agregados a los latices y provoca que las moléculas se enlacen entre si formando agregados y finalmente la coagulación de completa de látex inicialmente liquido.

Sin embargo, el coagulante funcional actúa al dejar de ser soluble en la formulación y precipita provocando la coagulación espontánea e irreversible de los látex.

Es decir que al llegar al punto de turbidez, que para estos productos se especifica entre 32 a 36 grados centígrados para una solución en agua de 15%, pasa entonces a un estado de insolubilidad y empieza a realizar su trabajo de desestabilización del látex siendo que a mayor presencia del mismo mas eficiente es la eliminación del efecto de los estabilizantes propios de los látex.

Esto se traduce en la práctica en que a mayor concentración de coagulante se necesite menos engría proporcionada por el calor trasferido al compuesto de látex para vencer la estabilidad del mismo y por lo tanto en una menor temperatura de coagulación.

En la tabla IV en la que se muestran la temperatura de coagulación obtenidas al aumentar la concentración de agente de superficie dejando fijo el valor de coagulante en 2phr. Podemos observar que nuevamente la temperatura disminuye al aumentar la concentración.

Este es un comportamiento que no es tan predecible como el anterior discutido en esta sección ya que el agente de superficie es un estabilizante de los látex.

En efecto estos agentes de superficie confieren una buena estabilidad a los látex a temperaturas ambientes, sin embargo en este caso se aprovecha el hecho que los agentes de superficie utilizados en la sensibilización de los látex tienen coeficiente de temperatura de solubilidad negativo en medios acuosos , en otras palabras al calentar una solución de estos compuestos su solubilidad disminuye hasta llegar a un punto conocido como punto de turbidez encima del cual estos compuestos son insolubles.

Este es el mismo principio que el coagulante tiene para sensibilizar los látex a la temperatura, por lo que al agregar estos estabilizantes lejos de contrarrestar el efecto del coagulante lo favorece y se aprovecha la sinergia de estos dos productos los cuales como ya se mencionó con anterioridad se agregan juntos en mezcla.

Los resultados muestran pues que al aumentar la concentración de agente de superficie la temperatura de coagulación disminuye, comparativamente el efecto es menor que el del coagulante y un aumento de 0.5 phr de este compuesto provoca una disminución del orden de 0.7 grados centígrados. (Ver tablas IV)

Adicionalmente, se comprobó que al sensibilizar el látex con 2 phr de Coagulante sin la presencia de agente de superficie se logra coagular la formulación a 60° C, Lo que demuestra que no es indispensable la presencia de este último para conseguir la sensibilización.

Sin embargo es recomendable su utilización principalmente por su efecto estabilizador a temperatura ambiente y durante el almacenaje y manejo del los látex sensibilizados y también a que un se ganan grados hacia abajo en la temperatura de coagulación.

La combinación optima de estos compuestos para el uso industrial tendrá que ser determinada en base a varios factores, es decir por ejemplo que utilizar una combinación de 1.0 phr de coagulante y 0.5 phr de agente de superficie lograremos una temperatura de coagulación de 67.3 mientras que si utilizamos 2.0 phr de coagulante y la misma 0.5 phr de agente de superficie la temperatura de coagulación será de 57.7 (ver tabla III y figura 8)

Para determinar cual de estas es la que mas conviene al proceso el factor costo de los sensibilizantes juega un papel importante ya que duplicar el coagulante significa aumentar el costo de producto, sin embargo el ahorro de energía para lograr la temperatura de coagulación de casi 10 grados menos también es un factor.

Otro factor a considerar es el número de inmersiones que se evitarían al estar más sensibilizado y el tiempo de la inmersión que es muy importante en la productividad de la línea.

Con la disponibilidad de estos datos el ingeniero de planta tiene ahora una herramienta muy útil y determinante para poder tomar la decisión más conveniente a su proceso y no lo hará de una forma poco sustentada en base a asumir hechos no comprobados.

Los análisis de varianza de las dos etapas muestran que el estadístico F es mayor que el estadístico F crítico además el logaritmo de ΔF es mayor a 1 en ambos casos, esto significa que estadísticamente el efecto sobre la temperatura de coagulación, del cambio en las concentraciones tanto de coagulante funcional etapa 1 y del agente de superficie etapa 2, es notable.

Por lo que se puede concluir que la temperatura de coagulación es una función de la concentración del coagulante funcional que puede expresarse por medio de la ecuación lineal $T_c = -9.618C_c + 76.92$ con un coeficiente de correlación de 0.976

De la misma forma la temperatura de coagulación es una función de la concentración del agente de superficie que puede expresarse por medio de la ecuación lineal $T_c = - 2.952C_s + 59.37$ con un coeficiente de correlación de 0.973.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en ambas fases este trabajo muestran que el comportamiento de una fórmula tipo de látex nitrilo, en relación a su temperatura de coagulación es afectado notablemente al utilizar diferentes concentraciones en el sistema sensibilizante. Lo cual proporciona una base información que permite tomar decisiones que involucren la temperatura de coagulación como parte crítica de un proceso industrial que utilice látex nitrilo como materia prima.

2. La temperatura de coagulación de una fórmula de látex nitrilo es una función de la concentración del coagulante funcional. Los resultados experimentales obtenidos en este trabajo se correlacionan por medio de la ecuación:

$$T_c = -9.618C_c + 76.92 \text{ con un coeficiente de correlación de } 0.976.$$

Donde T_c = temperatura de coagulación

C_c = concentración de coagulante funcional

3. La temperatura de coagulación de una formula de látex nitrilo es una función de la concentración del agente de superficie los resultados experimentales obtenidos en este trabajo se correlacionan por medio de la ecuación:

$$T_c = -2.952C_s + 59.37 \text{ con un coeficiente de correlación de } 0.973$$

Donde T_c = temperatura de coagulación

C_s = concentración de agente de superficie

4. El coagulante funcional tiene una mayor influencia sobre la temperatura de coagulación del látex nitrilo que el agente de superficie tal como lo muestran los resultados y la pendiente de las correlaciones lineales obtenidas.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que para utilizar esta base de datos, se complemente con un análisis completo de los diferentes aspectos que influyen para optimizar los recursos de una planta de producción como: costos de formulación, ahorro energético mejoras en productividad y calidad final de los artículos manufacturados.
2. Se recomienda que como primer paso para la optimización de la formula de látex nitrilo se utilice una mezcla de sistema sensibilizante con una concentración en el rango de 1.0 a 2.0 phr para el coagulante funcional y en un rango de concentración de 0.5 a 1.0 phr para el agente de superficie esto en función de la temperatura de coagulación requerida para cada proceso específico.
3. Debido a que las correlaciones obtenidas son lineales, es aconsejable realizar algunas mediciones de temperaturas de coagulación en los rangos tanto superiores como inferiores a los delimitados para este trabajo y así comprobar si los datos son extrapolables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chang, Raymond y Williams Collage. **Química**. 7 ed. Colombia: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V. 2002. 977pp.
2. Martini, Julio
<http://www.iisrp.com/WebPolymers/07NBR-18Feb2002.pdf> . Marzo 2008.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Blackley, D.C. **Polymer latices, Science and technology.** (2ª Edición; Inglaterra: Editorial Chapman & Hall, 1997). 559pp.
- 2 Montgomery, Douglas. **Applied statistics and probability for engineers.** (3a ed. Estados Unidos: Editorial Jon Wiley & Sons, Inc. 2003). 468-472pp.
3. Chang, Raymond y Williams Collage. **Química.** 7 ed. Colombia: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V. 2002. 977pp.
4. Morrison, Robert Thornton y Robert Neilson Boyd. **Química orgánica.** Versión española de la 3 ed. Fondo Educativo Interamericano, 1976. 1291 pp.