



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

TÍTULO DEL TEMA ESCRITO

“LÁTEX PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

**1.-TERPOLÍMERO ACETATODE VINILO, ACRILATODE BUTILO Y
METILMETACRILATO. EFECTO DE LA COMPOSICIÓN Y LA
CARBOXILACIÓN.”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

RODRIGO BUENTELLO MARTÍNEZ



MÉXICO, D.F.

AÑO 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

EN MEMORIA DE MÍ PADRE

EL INGENIERO ALFONSO BUENTELLO Y RODRÍGUEZ

ÍNDICE

Lista de tablas y figuras

Notación

1.- Introducción y Objetivos	1
2.- Antecedentes	
2.1 Polímeros.	3
2.1.2 Comportamiento hacia el calor.	3
2.1.2 Copolímeros.	4
2.2 Mecanismos de reacción para la síntesis de polímeros vía radicalaria.	5
2.2.1 Acomodo copolimérico	9
2.3 Polimerización en emulsión.	10
2.3.1 Componentes utilizados en la polimerización en emulsión.	11
2.3.2 Proceso de polimerización.	14
3 Suelo.	17
3.1 Estabilización.	18
3.- Parte Experimental	
3.1 Condiciones generales.	19
3.1.2 Selección de la proporción de terpolímeros VA/BA/MMA	19
3.2 Metodología experimental.	21
3.2.1 Síntesis de látex.	21
3.2.2 Descripción del equipo de reacción.	24
3.2.3 Tamizado de arena.	25
3.2.3 Probetas de tierra-látex.	25
3.3 Caracterización de látex.	26
3.3.1 Temperatura de transición vítrea.	26
3.3.2 Tamaño y dispersión de partículas.	27
3.4 Estrategia de trabajo resumida.	28

4.- Resultados y Discusión

Introducción a resultados.	29
4.1 Síntesis de látex.	30
4.2 Caracterización del suelo.	31
4.3 Prueba de compresión simple.	32
4.4 Caracterización del látex.	33
4.5 Caracterización de tensoactivo	34
4.6 Análisis de la síntesis de látex 1-7.	37
4.7 Análisis de la síntesis de látex 8-17.	38
4.8 Análisis de la caracterización de arena volcánica.	40
4.9 Análisis de la prueba de compresión simple.	40
4.10 Análisis de las Tg.	43
4.11 Análisis del tamaños de partículas de los látex.	44
4.12 Usos finales.	46
5.- Conclusión y recomendaciones.	47

Apendice	52
-----------------	-----------

Bibliografía

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

- 2.1 Tg de algunos polímeros
- 2.2 Ejemplos de constantes de propagación a 70 °C
- 2.3 Ejemplos de acomodamiento copolimérico
- 2.4 Ejemplos de acomodamiento copolimérico
- 2.5 Monómeros especiales
- 2.6 Usos de los tensoactivos según su HLB
- 2.7 Resumen de los eventos de una polimerización en emulsión dividida en tres etapas
- 2.8 Límites de tamaño de partículas sólidas.
- 3 Análisis de las proporciones de VA/BA/MMA y tg. para selección.
- 3.1 Composición de los látex sintetizados en porcentaje en peso.
- 3.2 Composición de los látex sintetizados en phm.
- 3.3 Porcentaje en sólidos de los látex mezclados con tierra.
- 4.1 Resultados de la gravimetría del látex número 2
- 4.2 Resultados de la gravimetría del látex número 3
- 4.3 Resultados de la gravimetría del látex número 4
- 4.4 Resultados de la gravimetría del látex número 5
- 4.5 Resultados de la gravimetría del látex número 6
- 4.6 Resultados de la gravimetría del látex número 7
- 4.7 Resultados de la gravimetría del látex número 8
- 4.8 Resultados de la gravimetría del látex número 9
- 4.9 Resultados de la gravimetría del látex número 10
- 4.10 Resultados de la gravimetría del látex número 11
- 4.11 Resultados de la gravimetría del látex número 12
- 4.12 Resultados de la gravimetría del látex número 13
- 4.13 Resultados de la gravimetría del látex número 14
- 4.14 Resultados de la gravimetría del látex número 15
- 4.15 Resultados de la gravimetría del látex número 16
- 4.16 Resultados de la gravimetría del látex número 17
- 4.17 Distribución del tamaño de partículas de la arena
- 4.18 Resultados de la compresión simple de las probetas tierra-látex con carboxilante agregado desde el inicio

Lista de tablas y figuras

- 4.19 Resultados de la compresión simple de las probetas tierra-látex sin carboxilante
- 4.20 Resultados de la compresión simple de las probetas tierra-látex con carboxilante agregado a las 3 hrs con 20 minutos de iniciada la reacción.
- 4.21 Caracterización con dispersor de luz con los tamaños de partícula promedio
- 4.22 Tg medidas con DSC
- 4.23 Datos de alcohol dodecílico con n moles de óxido de etileno reportados en literatura.
- 4.24 Datos estimados de CMC a diferentes temperaturas de alcohol dodecílico con 17.5 moles.
- 4.25 Resultados de la medición de tensión superficial del surfacpol EL-17.5 a 25 °C con tensiómetro de du Noüy electrónico K12.
- 4.26 Concentración a la que se trabajo en número de veces la CMC a 25 °C:
- 4.27 Conversión global (Cg) de las reacciones 2-7.
- 4.28 Conversión global de las reacciones 8-17
- 4.29 Tg medidas con DSC y teóricas
- 5.1 Composición general para las reacciones en phm.
- 5.2 Composición de látex que presenta la mejor consolidación de arena.

Figuras.

- A1.1 phm.
- A1.2 Gravimetría
- A1.3 Resultados gravimétricos de los látex sintetizados.
- A1.4 A1.4 Cálculo del HLB promedio del emulsificante
- A2 Distribución de tamaños de partículas del látex 9
- A3 Distribución de tamaños de partículas del látex 10
- A4 Distribución de tamaños de partículas del látex 11
- A5 Distribución de tamaños de partículas del látex 12
- A6 Distribución de tamaños de partículas del látex 13
- A7 Distribución de tamaños de partículas del látex 14
- A8 Distribución de tamaños de partículas del látex 15
- A9 Distribución de tamaños de partículas del látex 16
- A10 Distribución de tamaños de partículas del látex 17
- A11 Temperatura de transición vítrea del experimento 8
- A12 Temperatura de transición vítrea del experimento 9
- A13 Temperatura de transición vítrea del experimento 10

Lista de tablas y figuras

- A14 Temperatura de transición vítrea del experimento 11
- A15 Temperatura de transición vítrea del experimento 12
- A16 Temperatura de transición vítrea del experimento 13
- A17 Temperatura de transición vítrea del experimento 14
- A18 Temperatura de transición vítrea del experimento 15
- A19 Temperatura de transición vítrea del experimento 16
- A20 Temperatura de transición vítrea del experimento 17
- 2.1 Clasificación de polímeros
- 2.2 Acomodo de monómeros en un polímero
- 2.3 Disolución del iniciador.
- 2.4 Generación del radical.
- 2.5 Iniciación de la polimerización
- 2.6 Polimerización de acetato acetato de vinilo
- 2.7 Terminación de la reacción de polimerización de acetato de vinilo
- 2.8 Representación gráfica de tensión superficial contra concentración de tensoactivo
- 2.9 Representación de una polimerización en emulsión de un copolímero y su distribución de componentes
- 2.10 Cinética de reacción de una polimerización en emulsión típica.
- 2.11 Esquema típico del comportamiento de la Rapidez y número de partículas contra tiempo en una polimerización en emulsión.
- 2.12 Suelo
- 2.13 Métodos para estabilizar el suelo
- 3.1 Composición de los látex sintetizados en porcentaje en peso.
- 3.2 Composición de los látex sintetizados en phm.
- 3.3 Porcentaje en sólidos de los látex mezclados con tierra.
- 4.1 Cinética de reacción de los látex 1-7.
- 4.2 Cinética de reacción de los látex 8-17.
- 4.3 Porcentaje de acumulativos del suelo contra abertura nominal.
- 4.4 Comportamiento de la CMC vs n.
- 4.5 Tensión superficial del surfacpol EL-17.5 a diferentes concentraciones [D/cm].
- 4.6 Resistencia a la compresión simple de las probetas 1-7 con látex al 3% en sólidos
- 4.7 Rapidez de reacción de los látex 8 y 13.
- 4.8 Prueba de compresión simple de los látex 8-17.

Lista de tablas y figuras

- 4.9 Compresión simple de los látex carboxilados y sin carboxilar a diferentes porcentajes en sólidos.
- 4.10 Compresión simple de los látex sin carboxilar 1-7 a diferentes porcentajes en sólidos.
- 4.11 Tg de los látex 8-17.
- 4.12 Distribución del tamaño de partículas de los látex 8-12.
- 4.13 Distribución del tamaño de partículas de los látex 12-17

NOTACIÓN

- %s Porcentaje en sólidos de látex.
- %s(t_s)=Porcentaje en sólidos de látex en el tiempo de semilla t_s .
- %s(t_x) Porcentaje en sólidos de látex en el tiempo t_x .
- %V Porcentaje en volumen de partícula promedio.
- AA Ácido poliacrílico.
- AMA Ácido metacrílico.
- BA Acrilato de butilo.
- C Concentración
- Cg Porcentaje de conversión global.
- $Ci(t_x)$ Conversión instantánea en el tiempo t_x .
- $Ci_s(t_s)$ Conversión instantánea en la etapa de semilla al tiempo t_s .
- $Ci(t_{x-1})$ =Conversión instantánea en el tiempo t_{x-1} .
- CM Dosificación de carboxilante con el monómero.
- CMC Concentración micelar crítica.
- cP_p Copolímero en la partícula.
- Dp Diámetro de partícula promedio.
- DSC Calorimetría diferencial de barrido.
- E Emulsificante Surfapol EL 17.5.
- f₁ Fracción en mol del monómeros 1 en la alimentación.
- f₂ Fracción en mol del monómeros 2 en la alimentación.
- f_i Fracción volumétrica del componente i.
- G Gravedad específica.
- HLB Balance hidrofílico/lipofílico.
- hPp homopolímero en la partícula.
- I Iniciador, persulfato de potasio.
- k₀ Constante cinética de iniciación.
- k_{p_{ij}} Constante cinética de propagación entre el monómero i y el monómero j.
- k_t Constante de terminación.
- L Látex.
- M Monómero.
- m_i (t=0) Masa del componente i en el tiempo inicial.

$m_{nv}(t_s)$ = masa polimérica no volátil que reacciona en el tiempo de semilla t_s .

$m_{nva}(t_s)$ = masa polimérica volátil total de los componentes por reaccionar en el tiempo de semilla t_s .

$m_i(t_x)$ Masa del componente i en el tiempo t_x .

$m_{nv}(t_x)$ masa polimérica no volátil que reacciona en el tiempo t_x .

$m_{nva}(t_x)$ masa polimérica volátil total de los componentes por reaccionar en el tiempo t_x .

$m_T(t_x)$ masa total contenida en el reactor en el tiempo t_x .

$m_T(t_{x-1})$ masa total contenida en el reactor en el tiempo t_{x-1} .

m_{TmS} Masa total de monómeros agregada en la semilla.

$m_t(t_s)$ = masa total contenida en el reactor en el tiempo de semilla.

MMA Metacrilato de metil.

Mn1 Monómero terminal 1 repetido n veces.

n moles de óxido de etileno.

p Presión.

P.M. Peso molecular.

PBA Poliacrilato de butilo.

PET Polietilentereftalato.

Pfa Polímero en la fase acuosa.

phm Partes por cien de monómeros en peso.

PM_h Peso molecular de la parte hidrofílica molecular.

PMMA Polimetilmetacrilato.

PM_t Peso molecular total.

PP Polipropileno.

PVA Poliacetato de vinilo.

Q_{vol} Flujo volumétrico

r Constante de reactividad.

R^* Radical.

r_{ij} Razón de reactividades del componente i con relación al j .

ρ_i densidad del componente i

S Dosificación de carboxilante por disparo a las 3 hrs con 20 min. de iniciada la reacción.

T Temperatura de reacción.

T_g Temperatura de transición vítrea.

TgC Temperatura de transición vítrea del copolímero.

TgM1 Temperatura de transición vítrea del polímero 1.

TgM2 Temperatura de transición vítrea del polímero 2.

TgMi Temperatura de transición vítrea del iésimo polímero.

Tm Temperatura de cristalización.

t_x =tiempo x.

t_s =tiempo de semilla.

VA Acetato de vinilo.

WM1 Fracción en peso del monómero 1.

WM2 Fracción en peso del monómero 2.

WMi Fracción en peso del iésimo monómero.

x phm de Acrilato de butilo.

y phm de metacrilato de metilo.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La difícil tarea de construir y reconstruir caminos a bajos costos, no hace posible conservar una mayor longitud de la red de caminos. Tan solo en México existen más de 100,000 Km de caminos de terracerías, las cuales necesitan de atención. De tal manera que conforme avanza el desarrollo del país se requiere de una modernización de dichas vías.

Es por esto que existe la necesidad de buscar nuevas tecnologías que nos permitan modernizar nuestros caminos a un menor costo que los métodos tradicionales [Chernovetzky, 2002]

El objetivo principal de este proyecto, es desarrollar una tecnología a base de un polímero capaz de mejorar las propiedades mecánicas de suelos al ser mezclado con estos fácilmente. Se pretende además que sea elástico y que no dañe el medio ambiente para resolver problemas tales como:

- Hundimientos.
- Agrietamientos.
- Reconstrucción, conservación periódica en calles y carreteras.
- Personas en peligro de salud.
- Transitabilidad en veredas.
- Tolvaneras.
- Resistencia al deslave por corrientes de agua.

Las propiedades antes mencionados pueden abordarse con un polímero hecho en emulsión (Látex) cuyas principales ventajas ante otros son poder presentar: baja viscosidad, buena elasticidad a temperatura ambiente, y no ser tóxicos para el medio ambiente.

En el presente trabajo se sintetizaron 17 Látex vía polimerización en emulsión de acetato de vinilo/acrilato de butilo/metacrilato de metilo (VA/BA/MMA) carboxilados y sin carboxilar con ácido metacrílico (AMA) para luego ser evaluada su resistencia a la compresión al ser mezclados con un suelo determinado.

Por otro lado el presente estudio, generó conocimientos experimentales sobre los tamaños de partículas, tiempos de reacción para los sistemas en emulsión sintetizados y temperatura de transición vítrea de los copolímeros obtenidos.

Objetivos

- Seleccionar la proporción de terpolímeros VA/BA/MMA y sintetizarlos vía polimerización en emulsión (látex), los cuales sean capaces de mejorar la resistencia a la compresión de un tipo de suelo arenoso.

- Seguir la cinética de las polimerizaciones mediante la técnica de gravimetría para obtener las curvas de conversión contra tiempo.

- Cuantificar y evaluar la resistencia de mezclas suelo-látex cambiando en el látex:
 - a) Composición
 - b) Concentración
 - c) Carboxilación

- Caracterizar los copolímeros por su temperatura de transición vítrea y tamaño de partícula de los látex sintetizados.

2.-Antecedentes

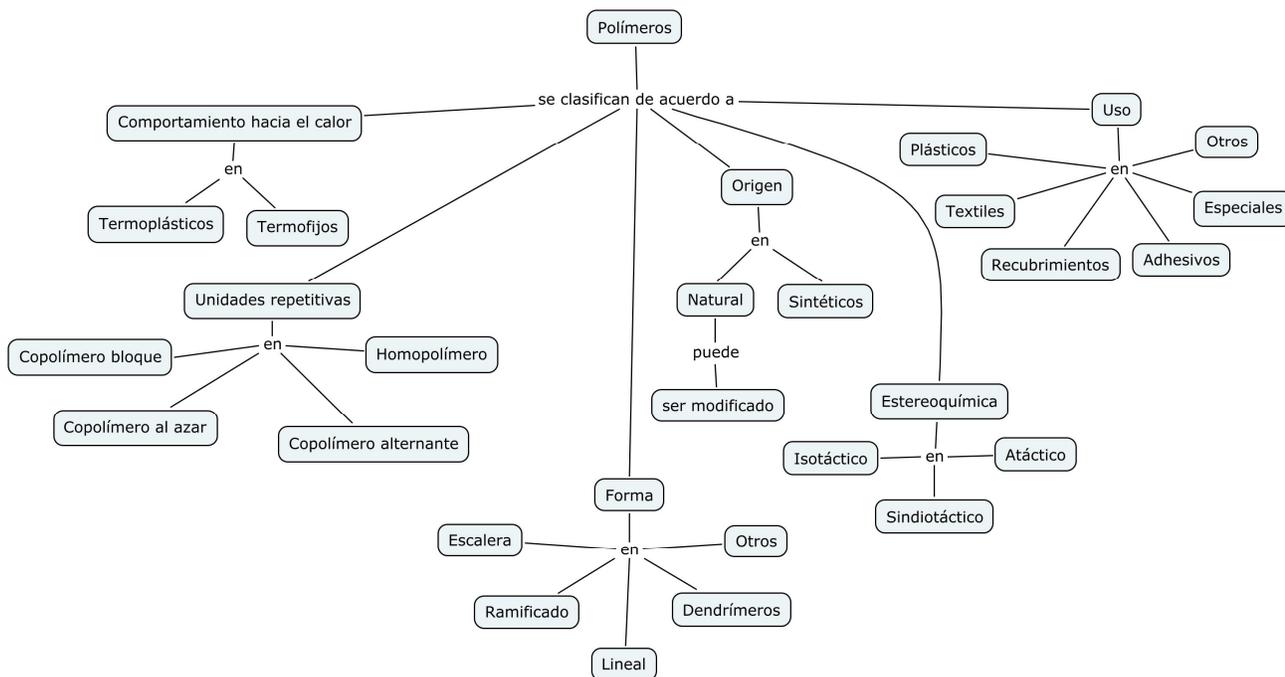
2.1 Polímeros

La palabra polímero proviene del griego poli=muchos y meros=partes

Los polímeros son cadenas largas cuya estructura y propiedades fisicoquímicas dependen principalmente de sus monómeros constitucionales, tamaño y su arreglo tridimensional.

Tienen diferentes tipos de clasificaciones, entre las que se encuentran: comportamiento hacia el calor, origen, aplicación, forma, estereoquímica, y por sus unidades estructurales. El siguiente mapa conceptual nos puede ayudar a la visualización de su clasificación:

Figura 2.1 Clasificación de polímeros (Generado con el programa gratuito IHMC Cmaps tools, <http://cmap.ihmc.us/download/>)



2.1.2 Comportamiento hacia el calor

La clasificación más importante para predecir propiedades mecánicas a determinada temperatura es la que se refiere al comportamiento hacia el calor, particularmente la temperatura de transición vítrea, la cual solo se mide para los polímeros termoplásticos. Los polímeros termoplásticos presentan un comportamiento similar al de la parafina de las velas, reblandecen al calentarse y se solidifican al regresar a la temperatura ambiente, pudiendo repetir sucesivamente esta operación ininidad de veces sin que haya cambio en la estructura

Bloque: AAAAAAAAAAAAAAAAAABBBBBBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAAABBBBBBBBBBBB

Azar: AABABBABAABBABAAAABAAABABBBAAAABAAABABAABABABBBABAAAABBB

Injerto:

```

                B
                B
                B
                B
                B
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
  B                                     B
  B                                     B
  B                                     B
  B                                     B
  B                                     B
  B                                     B
  
```

Para los copolímeros es posible hacer una aproximación de la Tg por medio de la ecuación de Fox (1956):

$$\frac{1}{Tg_C} = \frac{W_{M1}}{Tg_{M1}} + \frac{W_{M2}}{Tg_{M2}} + \dots + \frac{W_{Mi}}{Tg_{Mi}} \dots \dots \dots (1.1)$$

Donde:

- Tg_C= Temperatura de transición vítrea del copolímero
- Tg_{M1}=Temperatura de transición vítrea del polímero 1
- Tg_{M2}=Temperatura de transición vítrea del polímero 2
- Tg_{Mi}= Temperatura de transición vítrea del iesimo polímero
- W_{M1}= Fracción en peso del monómero 1
- W_{M2}= Fracción en peso del monómero 2
- W_{Mi}= Fracción en peso del iésimo monómero

2.2 Mecanismos de reacción para la síntesis de polímeros vía radicalica.

Está polimerización empieza con la formación de un radical que se une a una molécula de alqueno, formando así otro radical libre, que se agrega a otra molécula de alqueno para generar un radical más grande que, a su vez, se une a otra molécula de alqueno, y así sucesivamente. La cadena se termina, con la adición ó la desproporción de dos radicales, que se consumen, pero no generan radicales.

Estos mecanismos básicos tienen los nombres de iniciación, propagación, y terminación.

Paso 1 Iniciación.



En donde:

I=iniciador.

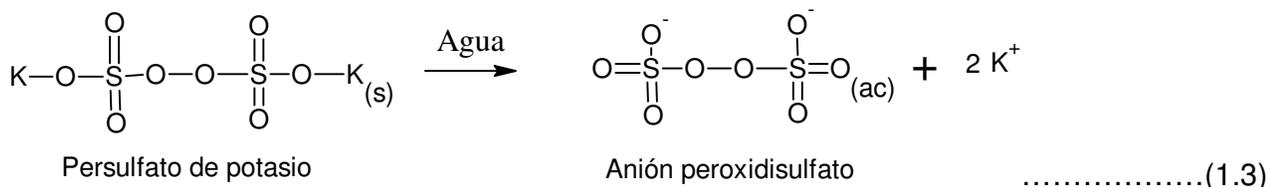
M₁=Monómero.

R • = Radical libre.

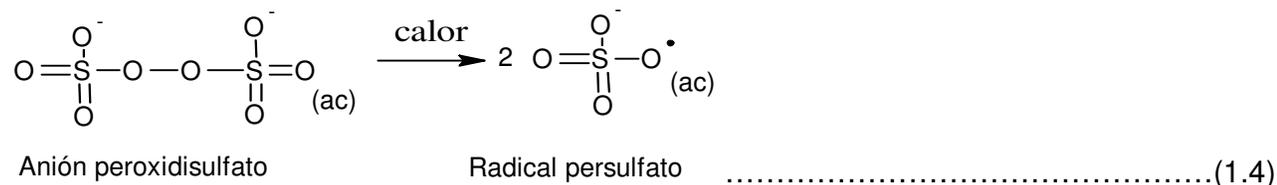
K₀= constante de velocidad para la etapa de iniciación.

Ejemplo:

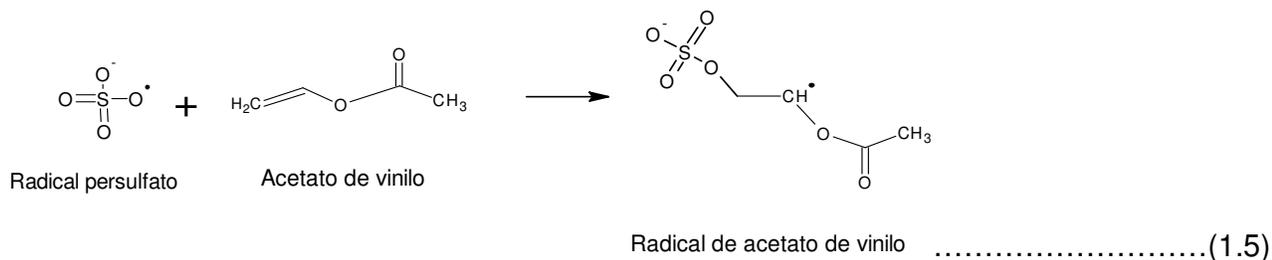
a).- Figura 2.3. Disolución (Estructuras generadas con el programa gratuito Chems sketch, www.acdlabs.com)



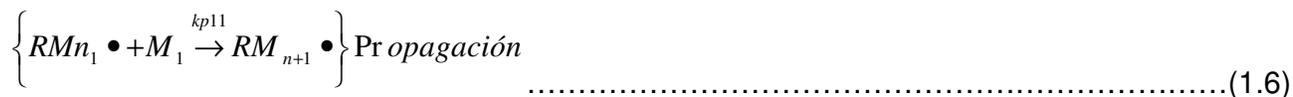
b).- Figura 2.4 Generación del radical:



c).- Figura 2.5 Iniciación de la polimerización:



Paso 2 Propagación



Donde:

$RM_{n1} \bullet$ = Radical del monómero terminal 1 repetido n veces.

k_{p11} = Constante de propagación del radical con monómero terminal 1 con el monómero 1.

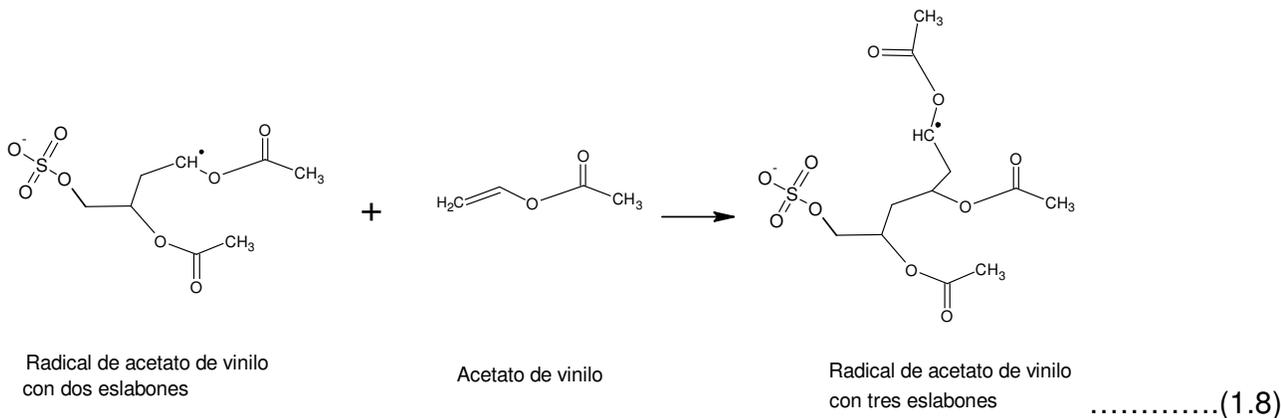
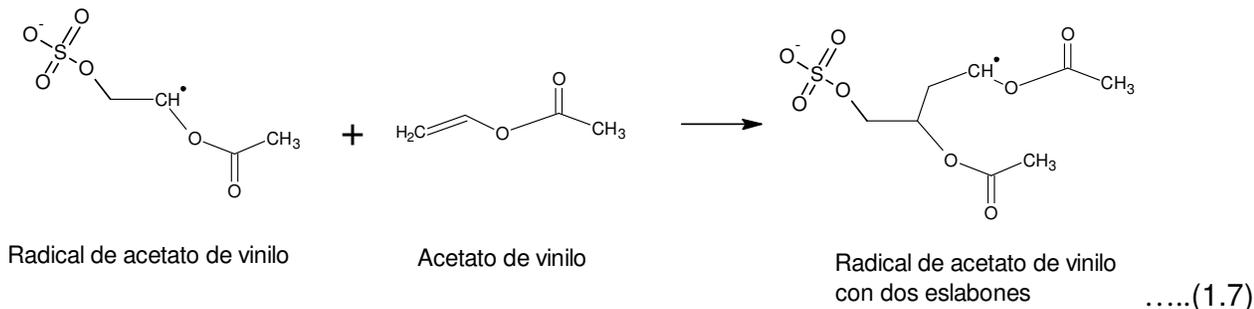
Aunque es posible que se produzcan pequeñas variaciones en la constante de propagación, en las primeras etapas, experimentalmente se ha comprobado que estas, son normalmente independientes del tamaño de la cadena [Charles E. Carraher, 2002].

Tabla 2.2 Ejemplos de constantes de propagación en $[cm^3/mol/s]$ a $70^\circ C$ (Araujo Odair, 1997).

Monómero	VA	BA	MMA
VA	$k_{pVA/VA} = 32.9 \times 10^5$	$k_{pVA/BA} = 889.19 \times 10^5$	$k_{pVA/MMA} = 470 \times 10^5$
BA	$k_{pBA/VA} = 0.39 \times 10^5$	$k_{pBA/BA} = 2.47 \times 10^5$	$k_{pBA/MMA} = 7.48 \times 10^5$
MMA	$k_{pMMA/VA} = 0.41 \times 10^5$	$k_{pMMA/BA} = 3.48 \times 10^5$	$k_{pMMA/MMA} = 9.20 \times 10^5$

Ejemplo:

Figura. 2.6 Polimerización de acetato acetato de vinilo.



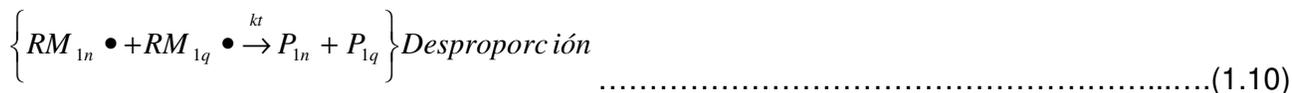
Paso 3 Terminación

Este mecanismo puede ocurrir por acoplamiento o por desproporción

1) Acoplamiento



2) Desproporción



Donde:

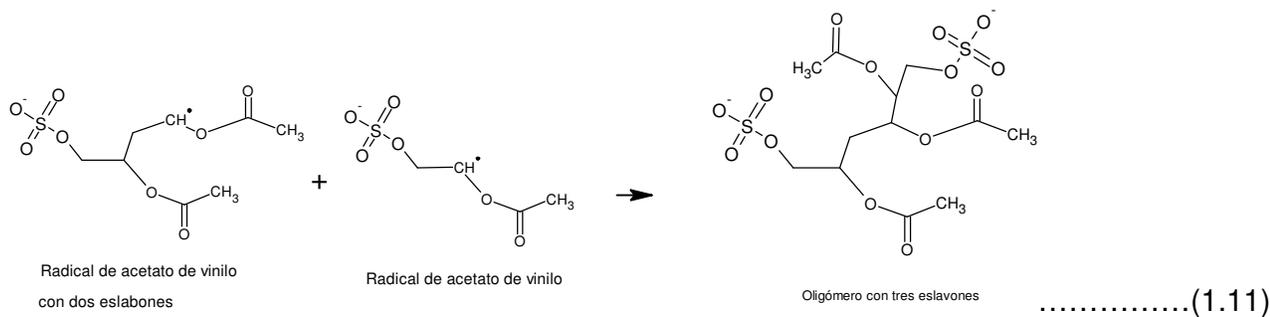
n y q = tamaño de cadena n y q

'P=Polímero

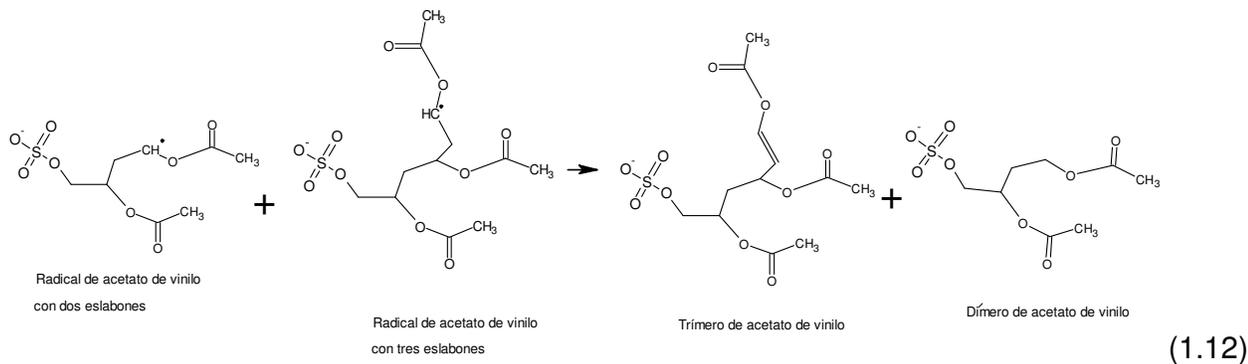
Ejemplo:

Figura 2.7 Terminación de la reacción de polimerización de acetato de vinilo.

a) Terminación por acoplamiento.



b) Terminación por desproporción.



2.2.1 Acomodo copolimérico

A mediados del siglo 20, Lewis y Mayo desarrollan la ecuación 1.13. que permite predecir el acomodo más probable de los bloques monoméricos en un copolímero (ver figura 1.2).

$$\frac{d[M_1]}{d[M_2]} = \frac{[M_1](r_1[M_1] + [M_2])}{[M_2]([M_1] + r_2[M_2])} \dots\dots\dots(1.13)$$

$$f_1 = 1 - f_2 = \frac{[M_1]}{[M_1] + [M_2]} \dots\dots\dots(1.14)$$

$$F_1 = \frac{r_1 f_1^2 + f_1 f_2}{r_1 f_1^2 + 2 f_1 f_2 + r_2 f_2^2} \dots\dots\dots(1.15)$$

$$F_1 = \frac{d[M_1]}{d[M_1] + d[M_2]} \dots\dots\dots(1.16)$$

$$r_1 = \frac{k_{p11}}{k_{p12}} \dots\dots\dots(1.17)$$

$$r_2 = \frac{k_{p22}}{k_{p21}} \dots\dots\dots(1.18)$$

Donde:

$d[M_1]$ = Diferencial de la concentración del monómero 1

$d[M_2]$ = Diferencial de la concentración del monómero 2

$[M_1]$ = Concentración del monómero 1 en la alimentación

$[M_2]$ = Concentración del monómero 2 en la alimentación

r_1 =constante de reactividad 1

r_2 =constante de reactividad 2

F_1 = Fracción del monómero 1 en el copolímero

$r_{ij}=k_{ii}/k_{ij}$ =razón de reactividad del radical i con los monómeros i y j respectivamente.

f_1 y f_2 = son la fracción en mol de los monómeros 1 y 2 en la alimentación.

Ejemplo:

Tabla 2.3 Ejemplos de acomodamiento copolimérico (haciendo uso de tabla 2.2).

Sistema	Monómero	phm	% mol	% mol copolimero
1	VA/BA	67/33	0.75/0.25	26.4 / 73.6
		75/25	0.82/0.18	32.7 / 67.3
		86/14	0.90/0.10	44.3 / 55.7
2	BA/MMA	75/25	0.70/0.30	45.0 / 55.0
		50/50	0.44/0.56	22.1 / 77.90
		25/75	0.21/0.79	8.9 / 91.1
3	VA/MMA	86/14	0.87/0.13	26.2 / 73.8
		75/25	0.78/0.22	14.4 / 85.6
		67/33	0.70/0.30	9.9 / 90.1

Para un terpolímero (Odian, 1992).

$$\begin{aligned}
 d[M_1]:d[M_2]:d[M_3] &= [M_1] \left\{ [M_1] + \frac{[M_2]}{r_{12}} + \frac{[M_3]}{r_{13}} \right\} \left\{ \frac{[M_1]}{r_{31}r_{21}} + \frac{[M_2]}{r_{21}r_{32}} + \frac{[M_3]}{r_{31}r_{23}} \right\} \\
 :[M_2] &\left\{ [M_2] + \frac{[M_1]}{r_{21}} + \frac{[M_3]}{r_{23}} \right\} \left\{ \frac{[M_1]}{r_{12}r_{31}} + \frac{[M_2]}{r_{12}r_{32}} + \frac{[M_3]}{r_{32}r_{13}} \right\} \dots\dots\dots(1.19) \\
 :[M_3] &\left\{ [M_3] + \frac{[M_1]}{r_{31}} + \frac{[M_2]}{r_{32}} \right\} \left\{ \frac{[M_1]}{r_{13}r_{21}} + \frac{[M_2]}{r_{23}r_{12}} + \frac{[M_3]}{r_{13}r_{23}} \right\}
 \end{aligned}$$

Ejemplo:

Tabla 2.4. Ejemplos de acomodamiento copolimérico (utilizando tabla 2.2).

Sistema	VA/BA/MMA		% mol Terpolimero		
	phm	fracción mol en la alimentación	VA	BA	MMA
VA/BA/MMA	60/30/10	0.68/0.23/0.10	14.3	42.8	42.9
	60/25/15	0.67/0.19/0.14	12.7	32.8	54.5
	60/20/20	0.66/0.15/0.19	10.9	23.4	65.7
	60/15/25	0.66/0.11/0.23	10.1	16.2	73.7
	60/10/30	0.65/0.07/0.28	8.9	9.5	81.5

2.3 Polimerización en emulsión

Existen 4 técnicas principales para la obtención de polímeros: masa, solución suspensión y emulsión, sin embargo “el proceso más importante en la industria para sintetizar polímeros y copolímeros de poliácridatos es el de emulsión” [Ullmann’s Encyclopedia, vol. A21]. La

preparación de estos se logra a través de la adición controlada de varios componentes químicos como son agua, monómero(s), tensoactivo e iniciador principalmente.

2.3.1 Componentes utilizados en la polimerización en emulsión¹.

Agua

El agua sirve como medio de dispersión, control de temperatura de la reacción y así poder controlar fácilmente la reacción. Preferentemente debe ser destilada ya que los electrolitos pueden causar desestabilización de la emulsión.

Iniciador

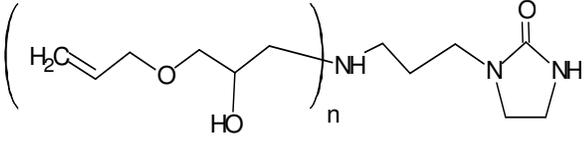
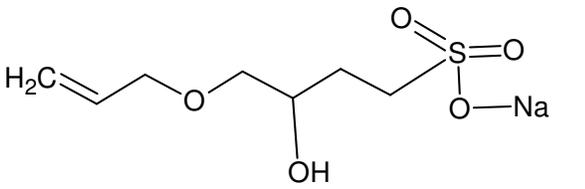
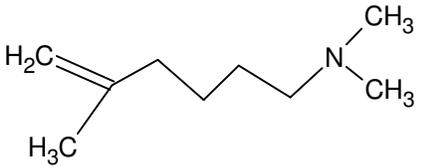
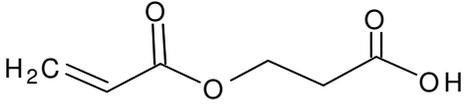
Como su nombre lo indica estos compuestos son los que inician la polimerización en emulsión por un mecanismo de reacción vía radicalica. Y se escogen dependiendo de su solubilidad, tiempo de vida media y costo principalmente. Son los compuestos peróxidos los que más se usan para iniciar una polimerización en emulsión cuando la temperatura de síntesis se hace entre los 50-85 °C usualmente y se utiliza entre 0.2-0.5 % en peso con respecto a los monómeros. Cabe decir que la alta concentración de estos y la presencia de electrolitos puede causar efectos adversos de inestabilidad y bajo peso molecular.

Monómeros

Los monómeros son las unidades de construcción de los polímeros, la selección de estos dependerá de las propiedades deseadas en el polímero resultante. Muchos látex aparte de utilizar combinación de varios monómeros también hacen uso de pequeñas cantidades (1-5%) de monómeros especiales que le dan propiedades tales como adhesividad y entrecruzamiento al polímero final. La tabla 2.3 muestra una lista de algunos de estos monómeros especiales producidos por la fábrica francesa Rhone Poulenc (Catálogo de monómeros especiales Rhone Poulenc).

¹ Propiedades en apéndice.

Tabla 2.5 Monómeros especiales

Nombre trivial	Estructura química	P.M.	Uso
SIPOMER WAM		345	Promotor de adhesión para látex vinil-acrílicos y acrílicos
COPS		218	-Mejora las propiedades Tales como estabilidad mecánica, baja espuma, alto porcentaje en sólidos, control de tamaño de partículas mediante la combinación de propiedades en una sola molécula tipo monómero y surfactante.
MADAME		141	-Ofrece un medio de incorporar grupos amino en gran variedad de sistemas poliméricos. -Aumenta la versatilidad de los copolímeros mediante la mejora de la adherencia y resistencia a los alcalis.
SIPOMER B-CEA		196	-Mejora la adhesión hacia varios tipos de sustratos.

Emulsificante.

En general, un tensoactivo es una molécula que tiene al menos una parte hidrofílica y una parte lipofílica ver figura 2.8. Estos pueden ser iónicos o no iónicos y tienen diferentes aplicaciones que pueden ser predichas con el sistema HLB (balance hidrofílico/lipofílico) el cual se basa en la relación que existe entre la parte hidrofílica de la molécula con su total dado por la siguiente ecuación.

$$HLB = \frac{20PM_H}{PM_T} \dots\dots\dots (1.20)$$

Donde:

PM_H =Peso molecular de la parte hidrofílica

PM_T =Peso molecular total de la molécula

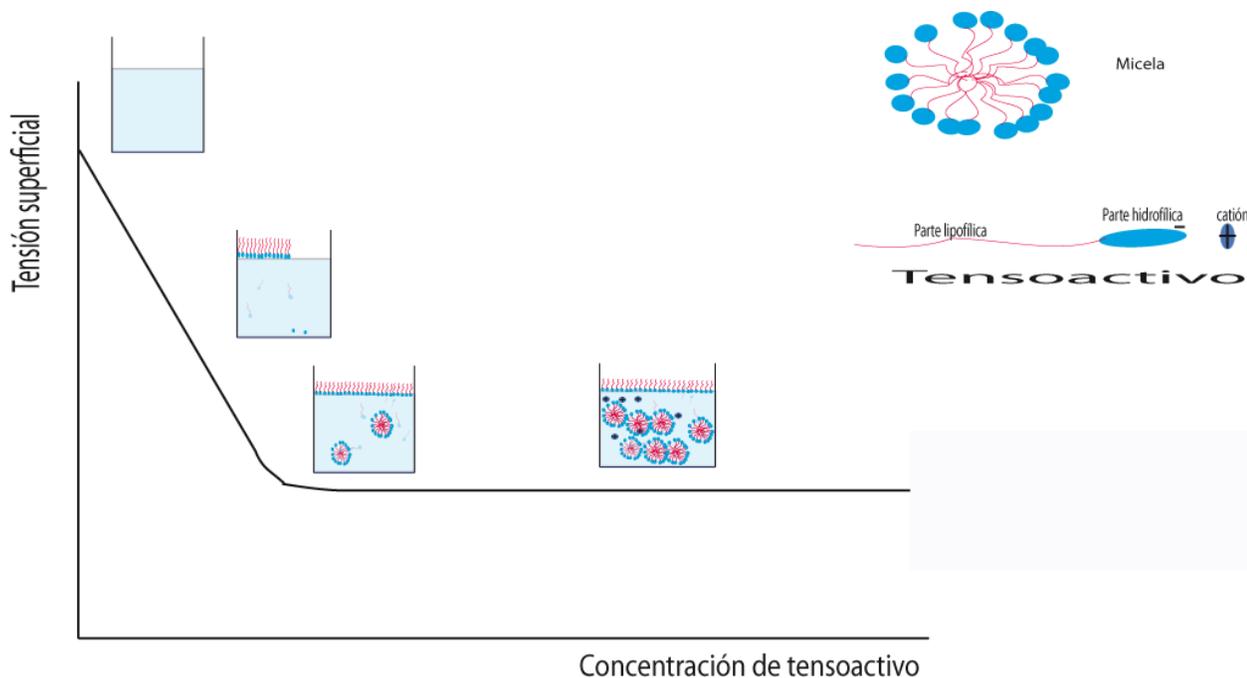
Tabla 2.6 Usos de los tensoactivos según su HLB [Encyclopedia of Polymer Science and Engineering vol. 6 ,1986].

HLB	Aplicación del tensoactivo
4-6	Emulsificante agua-aceite
7-9	Agente humectante
8-18	Emulsificante aceite agua
13-15	Detergente
10-18	Solubilizante

Microscópicamente el emulsificante encapsula moléculas polares (emulsión agua/aceite) ó moléculas no polares (emulsión aceite/agua), a esta formación estructural se le llama micela (ver figura 2.8), generando una fase homogénea a simple vista.

Para el caso de emulsificación de acetato de vinilo se recomiendan valores de HLB entre 16-17.5 (Encyclopedia of polymer science and engineering vol. 6 ,1986).

Figura 2.8. Representación gráfica de tensión superficial contra concentración de tensoactivo



A pesar de estas certidumbres hacia una correcta selección de emulsificante, no se puede calcular a ciencia cierta la cantidad de emulsificante que se necesitara en un determinado

sistema para una adecuada emulsificación, por lo que se necesitan hacer pruebas experimentales con el emulsificante seleccionado y el sistema con el que se quiere trabajar.

El procedimiento consiste en agregar los componentes a emulsificar a la temperatura en la que la emulsión será hecha e ir agregando poco a poco el emulsificante hasta alcanzar homogeneidad y estabilidad temporal.

Experimentalmente se ha visto, que para tener una polimerización en emulsión estable, se requieren entre el 0.1-3.0 % en peso del tensoactivo con respecto el agua, aumentando el número de micelas proporcionalmente y disminuyendo su tamaño.

2.3.2 Proceso de polimerización.

La polimerización en emulsión es un proceso ampliamente utilizado, sin embargo existen hasta ahora únicamente teorías que la explican parcialmente y presentan una serie de incógnitas no muy bien esclarecidas con respecto a los mecanismos de nucleación de sus partículas, balance de entrada-salida de los radicales libres en las micelas e influencia del emulsificante en la rapidez de polimerización. Ello ha conducido a teorías con mecanismos complejos.

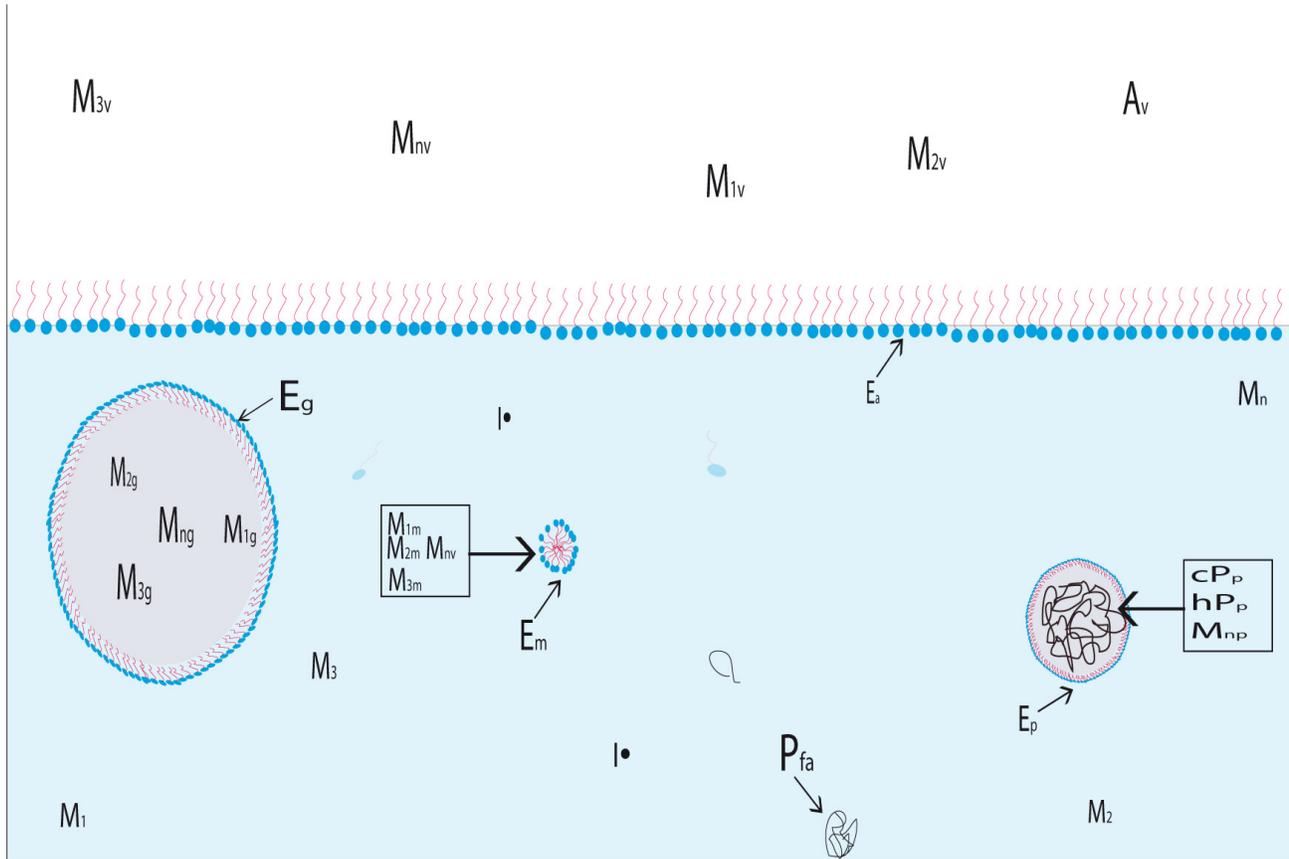
Las teorías cualitativas más recurrida son la de Harkins y la de Priest, que explican la polimerización con y sin micelas de la siguiente manera en general.

Teoría de Harkins hace las siguientes aproximaciones:

1. Toma en cuenta que los monómeros son poco solubles en el medio.
2. Las reacciones se llevan a cabo principalmente en las micelas.
3. Se forman gotas de monómero grandes a comparación de las micelas, pero solo son almacenadoras de monómero que alimentan a las micelas al irse agotando el monómero de las micelas pequeñas debido a su polimerización.
La probabilidad de que en las gotas se forme polímero es baja.
4. La probabilidad de que un radical monomérico reaccione en la fase acuosa y se encuentra con otro en la misma fase es menor que la probabilidad de encontrarse este con una micela, por lo que se considera insignificante la cantidad de polímero formado en la fase acuosa.

A diferencia de Harkins, Priest propone que para monómeros muy solubles en agua y/o con emulsificante por debajo de la CMC, la reacción se lleva a cabo en la fase acuosa y termina hasta alcanzar determinado peso molecular, precipitando después.

Figura 2.9 Representación de una polimerización en emulsión de un copolímero y su distribución de componentes.



Donde

M₁, M₂, M₃, M_n = monómeros 1,2,3 y n

E = tensoactivo

I• = Iniciador

A = agua

a, g, v, m y p son los índices referentes a las fases acuosa, gota, vapor, micela y partícula

cP_p = copolímero en la partícula

hP_p = homopolímero en la partícula

P_{fa} = Polímero en la fase acuosa

A este tipo de comportamiento cualitativo le corresponde una cinética química de tipo sigmoideal que cuantitativamente es descrito por algunas teorías en tres etapas a saber: nucleación, crecimiento de partículas y por último de terminación.

Figura. 2.10 Cinética de reacción de una polimerización en emulsión típica.

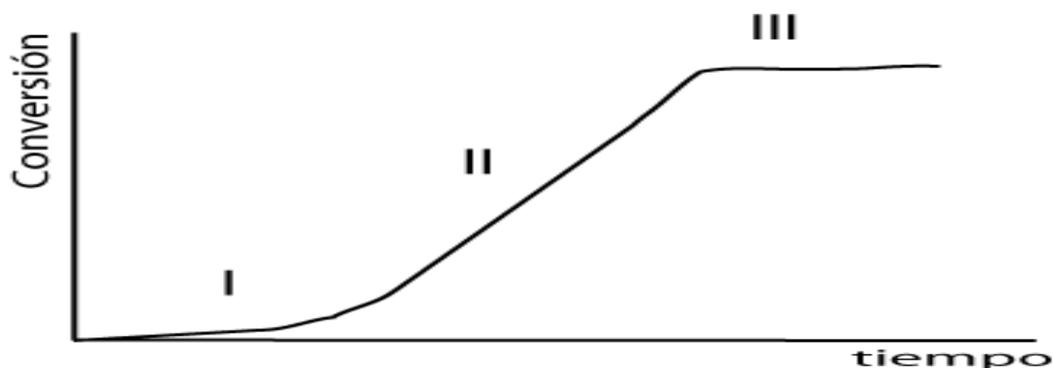


Tabla 2.7 Resumen de los eventos de una polimerización en emulsión dividida en tres etapas.

Etapa	Micelas	Gotas de monómero	Número de partículas	Tamaño de partículas	Rapidez de polimerización
I	Si	Si	Creciente	Creciente	Creciente
II	Si	Si	Constante	Creciente	Constante
III	No	No	Constante	Constante ó decreciente	Decreciente

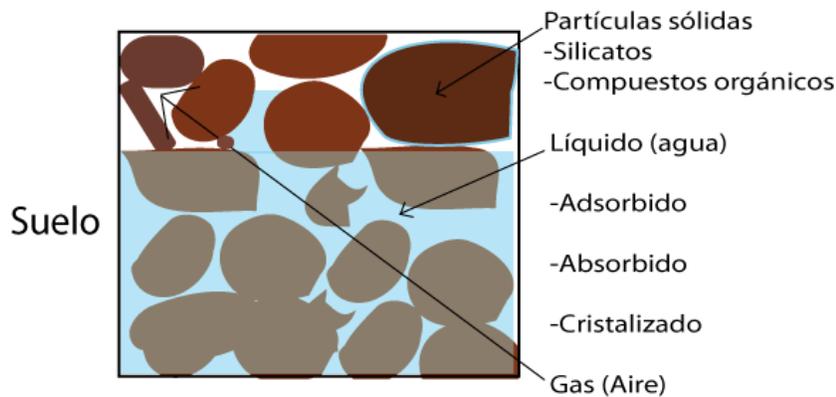
Figura. 2.11 Esquema típico del comportamiento de la Rapidez y número de patículas contra tiempo en una polimerización en emulsión.



3 Suelo.

Se considera suelo a la mezcla heterogénea (figura 2) de la capa superficial de la tierra cuyos principales componentes son el agua, el aire y materiales orgánicos e inorgánicos entre los que destacan los silicatos.

Figura 2.11. Suelo



Ya que esta capa está íntimamente relacionada con la influencia de la intemperie y de los seres vivos se requiere saber si es o no estable para diferentes finalidades. Entre los múltiples factores que afectan la estabilidad estructural de los suelos en primer lugar podemos mencionar la distribución de tamaños, ya que esta afecta la superficie específica, velocidad de infiltración hidráulica, consistencia y densidad, por lo que normalmente se suelen clasificar primordialmente por el tamaño predominante de diámetro, por un análisis de cribado.

Tabla 2.8. Límites de tamaño de partículas sólidas.

Nombre de la organización	Tamaño del grano en mm			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Intituto Tecnológico de Masachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos(SUCS)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	<0.075	<0.075

Hoy en día la de más amplio uso es el SUCS [Braja M. Das, 2002], que clasifica los suelos en dos amplias categorías:

1. Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50 % pasando por la malla No. 200 ($74\ \mu m$). Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. Donde G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.
2. Los suelos de grano fino con 50 % o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo orgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcilla orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos también son usados para la clasificación como:

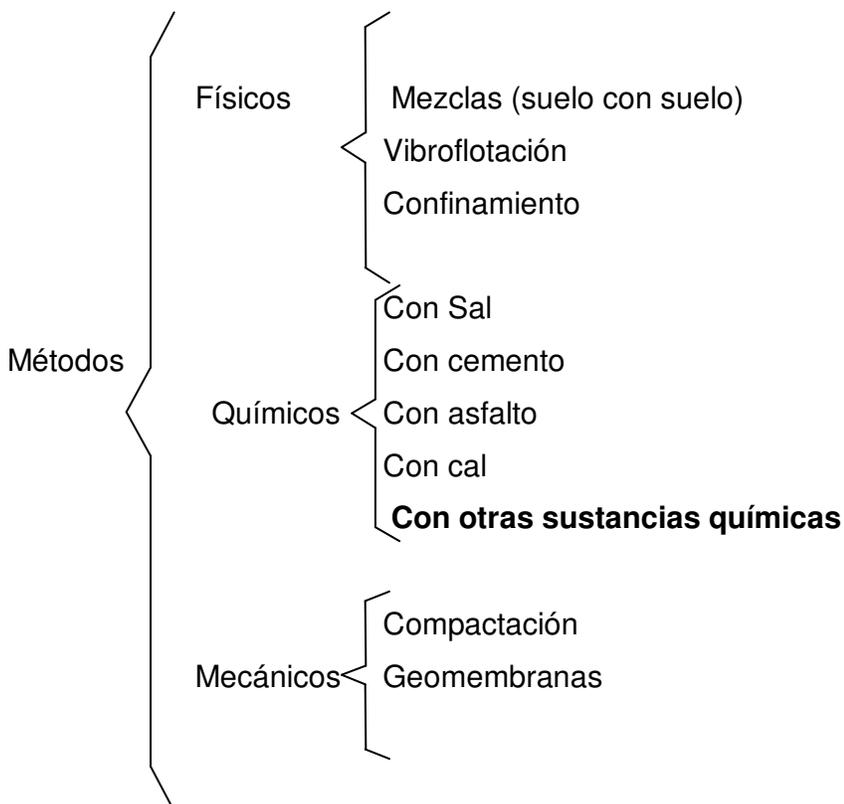
W=bien graduados

P=mal graduados.

3.1 Estabilización

Algunos métodos generales para estabilizar se encuentran resumidos en la siguiente figura:

Figura 2.12 Métodos para estabilizar el suelo mecánicamente.



La utilización de cada uno de los métodos depende de las características particulares del suelo que se pretenda mejorar, no obstante que la compactación es el método más usual, el cual consiste en aplicar una carga externa al suelo para su mayor resistencia a la compresión. La compactación por sí sola no logra mantener las características de mejoría, por lo que se requiere combinarlo con cualquiera de los otros métodos.

3 PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Condiciones generales.

Los disolventes y reactivos empleados en la síntesis de los monómeros y polímeros son grado técnico y fueron utilizados como se recibieron. El tensoactivo surfacopol-EL17.5 es un compuesto comercial de Polaquimia. Todos los reactivos fueron guardados refrigerados y sellados antes y después de ser usados para evitar que absorbieran humedad o se polimerizaran en el caso de los monómeros.

Los tamaños de partícula se midieron en un dispersor de luz Mastersizer modelo 2000 utilizando un índice de refracción de 1.395.

El rango de las temperaturas de transición vítrea (T_g) se determinaron por calorimetría diferencial de barrido (DSC) -100 a 100 °C. Las T_g de los polímeros se registraron en un equipo modelo DSC-2910 marca TA-instrument, empleando una rapidez de calentamiento de 10° C/min.

La caracterización de la arena se hizo con un tamizador Marca Ro-Tap modelo RX-29 con las mallas 20,30, 40, 60, 100, 130 y 200.

Las pruebas de compresión simple de las probetas tierra-látex se hicieron con un compresor de probetas cilíndricas de 2 in de diámetro por 2 in de alto marca Sand strength machine y la medición de la tensión superficial del tensoactivo en agua utilizado con un tensiómetro de Du Noüy modelo k12 electrónico a 25 °C.

3.1.2 Selección de la proporción de terpolímeros VA/BA/MMA

A concentración de VA constante se escogerá el sistema de proporciones de VA/BA/MMA que contenga mayor proporción de VA con el fin de disminuir costos (el acetato de vinilo es el monómero más barato de los tres) y a la vez cumpla con los siguientes puntos:

1. VA+BA+MMA=100 phm.
2. VA, BA, MMA mayor a 0.
3. Para el análisis el BA y MMA variará de 5 en 5 phm.
4. BA y MMA serán diferentes a 0.
5. **Tg menor a 0 °C**, para poder apreciar el efecto elástico.
6. **Tg mayor o igual a temperatura normal de 25 °C** (Terpolímero duro a temperatura ambiente).

Tabla 3. Análisis de las proporciones de VA/BA/MMA y T_g teórica (Ec. 1). para selección.

Sistema	VA	BA	MMA	T_g [C]
1	90	5	5	27
2	85	10	5	22
	85	5	10	31
3	80	15	5	16
	80	10	10	25
	80	5	15	34
4	75	20	5	11
	75	15	10	19
	75	10	15	28
	75	5	20	37
5	70	25	5	6
	70	20	10	14
	70	15	15	22
	70	10	20	31
	70	5	25	41
6	65	30	5	1
	65	25	10	9
	65	20	15	17
	65	15	20	25
	65	10	25	35
	65	5	30	44
7	60	35	5	-4
	60	30	10	4
	60	25	15	12
	60	20	20	20
	60	15	25	29
	60	10	30	38
	60	5	35	48
8	50	45	5	-13
	50	40	10	-6
	50	35	15	1
	50	30	20	9
	50	25	25	17
	50	20	30	26
	50	15	35	35
	50	10	40	45
	50	5	45	56

Se puede apreciar que el sistema que cumple con las características planteadas es el 7.

3.2 Metodología experimental

3.2.1 Síntesis de látex.

Se sintetizaron 17 látex vía polimerización en emulsión en un reactor semilotes, con agitación continua, de vidrio enchaquetado a 60 °C., atmósfera de nitrógeno y se desarrollo en tres etapas:

1. Se llena el reactor con agua, emulsificante e iniciador, luego se descarga el reactor desde el recipiente de alimentación de monómero un volumen de la mezcla monomérica hasta dejar 200 mL. para que actúen como semilla durante 1 hora. Por último se toma una muestra al término de esta etapa, se pesa y se le agrega una gota de hidroquinona al 1% para después ser metida al horno al vacío a 50 °C.
2. Se alimentan al reactor la mezcla de monómeros con un flujo constante de $\frac{25\text{mL}}{20\text{min}}$, tomando muestra de aproximadamente 5 mL. cada 30 minutos para el análisis gravimétrico. La mezcla de monómeros se termina a las 3 hrs con 40 minutos y la reacción se para a las 5 hrs.
Para las primeras 7 reacciones se agrega el carboxilante junto con el monómero.
Para las reacciones 13-17 el carboxilante se agrega a las 3 hrs con 20 min.
3. Descargar el látex en botella de 1 lts.. de PET y agregar unas gotas de hidroquinona al 1%.

Se toma muestra para análisis DSC y dispersión de luz.

Las cargas de los diferentes látex sintetizados en el reactor fueron las siguientes:

Tabla 3.1-Composición de los látex sintetizados en porcentaje en peso.

L ^{3.1}	VA	BA	MMA	AMA	I ^{3.5}	E ^{3.6}	A ^{3.7}
#	(%w) ^{3.8}	(%w)	(%w)	(%w)	(%w)	(%w)	(%w)
1	14.88	7.44	2.48	0.25 CM ^{3.3}	0.20	0.37	74.39
2	14.75	8.58	1.23	0.25 CM	0.20	1.23	73.75
3	14.71	3.68	6.13	0.25 CM	0.20	1.47	73.57
4	14.71	7.36	2.45	0.25 CM	0.20	1.47	73.57
5	14.68	8.56	1.22	0.24 CM	0.20	1.71	73.39
6	14.68	1.22	8.56	0.24 CM	0.20	1.71	73.39
7	14.68	4.89	4.89	0.24 CM	0.20	1.71	73.39
8	14.71	7.36	2.45	0.00	0.20	1.72	73.57
9	14.71	6.13	3.68	0.00	0.20	1.72	73.57
10	14.71	4.90	4.90	0.00	0.20	1.72	73.57
11	14.71	3.68	6.13	0.00	0.20	1.72	73.57
12	14.71	2.45	7.36	0.00	0.20	1.72	73.57
13	14.68	7.34	2.45	0.24 S ^{3.4}	0.20	1.71	73.39
14	14.68	6.12	3.67	0.24 S	0.20	1.71	73.39
15	14.68	4.89	4.89	0.24 S	0.20	1.71	73.39
16	14.68	3.67	6.12	0.24 S	0.20	1.71	73.39
17	14.68	2.45	7.34	0.24 S	0.20	1.71	73.39

3.1 Número de Látex

3.3 Dosificado con el monómero

3.4 Dosificado por disparo a las 3 hrs con 20 min.

3.5 Persulfato de potasio como iniciador

3.6 Surfapcol EL 17.5 como emulsificante

3.7 Agua

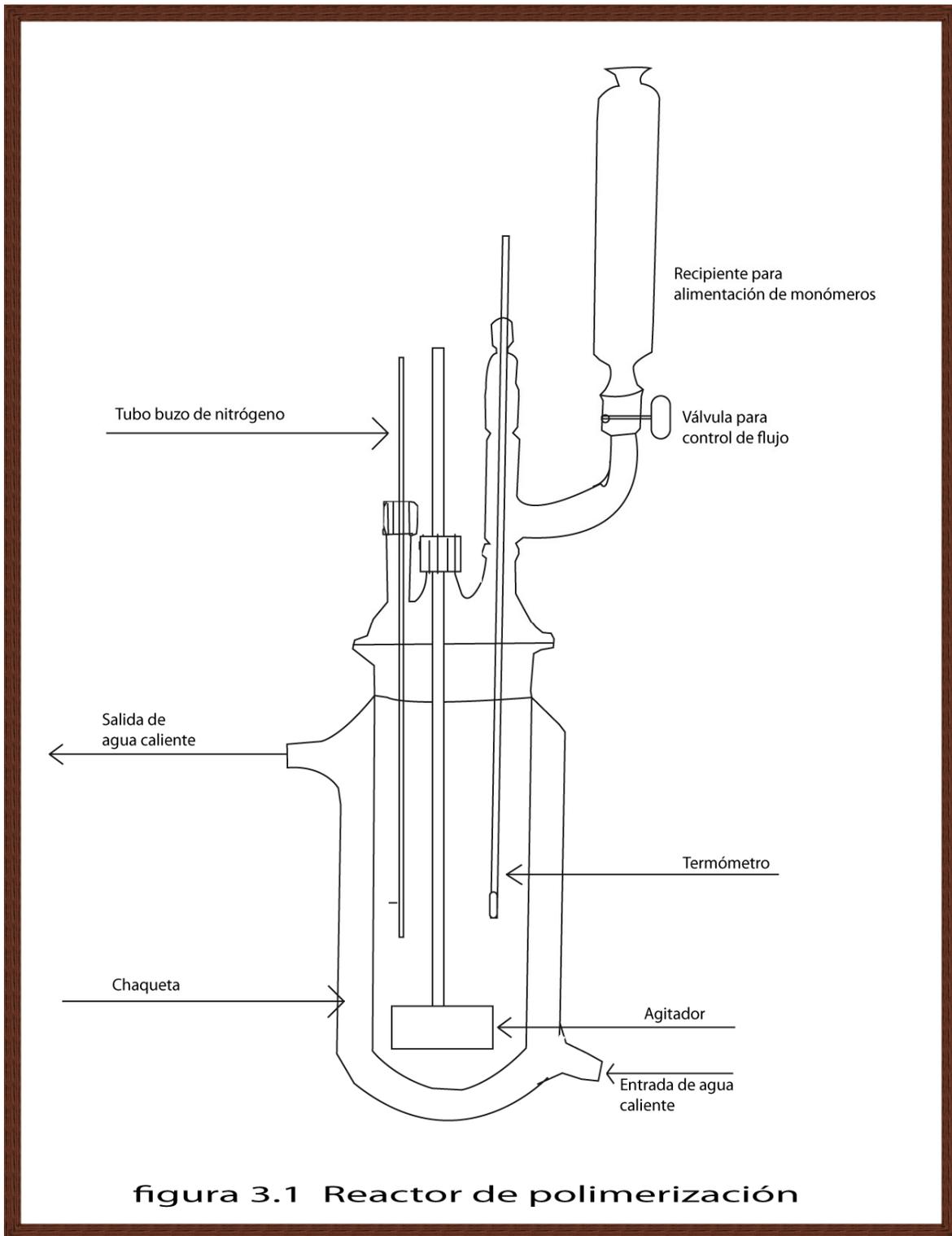
3.8 Porcentaje en peso

Tabla 3.2 - Composición de los látex sintetizados en phm^{3.9}.

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	Agua
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
1	60.00	30.00	10.00		1.00 CM ⁽³⁾	0.40	1.50	300.00
2	60.00	35.00	5.00		1.00 CM	0.80	5.00	300.00
3	60.00	15.00	25.00		1.00 CM	0.80	6.00	300.00
4	60.00	10.00	30.00		1.00 CM	0.80	6.00	300.00
5	60.00	35.00	5.00		1.00 CM	0.80	7.00	300.00
6	60.00	5.00	35.00		1.00 CM	0.80	7.00	300.00
7	60.00	20.00	20.00		1.00 CM	0.80	7.00	300.00
8	60.00	30.00	10.00		0.0	0.80	7.00	300.00
9	60.00	25.00	15.00		0.0	0.80	7.00	300.00
10	60.00	20.00	20.00		0.0	0.80	7.00	300.00
11	60.00	15.00	25.00		0.0	0.80	7.00	300.00
12	60.00	10.00	30.00		0.0	0.80	7.00	300.00
13	60.00	30.00	10.00		1.00 S	0.80	7.00	300.00
14	60.00	25.00	15.00		1.00 S	0.80	7.00	300.00
15	60.00	20.00	20.00		1.00 S	0.80	7.00	300.00
16	60.00	15.00	25.00		1.00 S	0.80	7.00	300.00
17	60.00	10.00	30.00		1.00 S	0.80	7.00	300.00

^{3.9}Partes por cien de monómeros en gramos

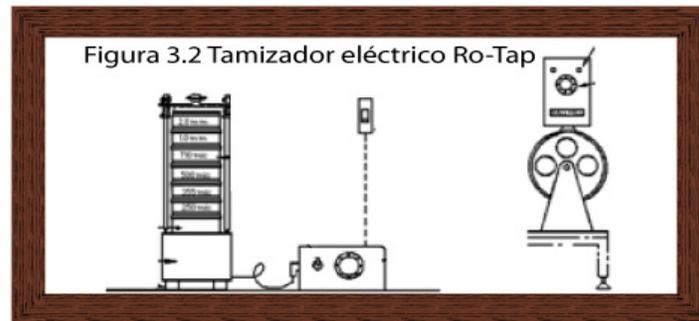
3.2.2 Descripción del equipo de reacción³.



³ Figura generada con el programa de prueba Adobe Ilustrador

3.2.2 Tamizado de arena

Secar en horno la arena volcánica proporcionada (tomada del Ajusco) a 60°C , colocarla en un cuarteador ó mezclador Johns, el cual distribuye la tierra de una maneja mas homogénea, y tomar una muestra representativa, pesar una muestras de 87 g. en una balanza Scout-pro con precisión de $\pm 0,1$ g, introducir guijarros de porcelana de aproximadamente 1 cm de diámetro en los últimos 4 platos, colocar en el tamiz de mayor abertura la arena, y poner todos los platos en el tamizador Ro-Tap modelo RX-29 (fig. 3) por un tiempo de 20 minutos. Pesar la arena contenida en cada plato. Repetir tres veces y sacar el promedio.



3.2.3 _Probetas de tierra-látex

Antes de hacer las mezclas tierra látex se determinó la capacidad de humectación de la tierra seca para saber cuánto agregar de látex a la tierra para hacer una pasta homogénea. Esto se realizó midiendo una masa de tierra y agregarle agua hasta formar la consistencia deseada. Las unidades estarán dadas en $\text{g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{tierra}}$. Se mezcla el látex con tierra secada previamente a 60°C de acuerdo a los datos obtenidos en la prueba de humectación y se coloca en un molde cilíndrico de 2 in de diámetro por 2 in de alto. Por último dejar secar a temperatura ambiente por dos semanas y sacar del molde para hacer las pruebas de compresión simple. Esta consiste en agregar una fuerza a la probeta hasta tener cedencia. Se toma la medida que se obtuvo y se retira la muestra.

Tabla 3.3 Porcentaje en sólidos de los látex mezclados con tierra.

L (carboxilados CM)	% s ^{4.10}
1	3%
2	3%
3	3%
4	3%
5	a) 3% b) 10% c) 17%
6	3%
7	3%
Mezcla al 50% de látex 5 y 6	3%

L	% s
8	a)3% b)7% c)10%
9	a) 3% b) 7% c)10%
10	a) 3% b) 7% c)10%
11	a) 3% b) 7%
12	a) 3% b) 7%
9	a) 3% b) 7% c)10%
10	a) 3% b) 7% c)10%

L (carboxilados S)	% s
13	a) 3% b) 7% c)10%
14	a) 3% b) 7% c)10%
15	a) 3% b) 7% c)10%
16	a) 3% b) 7% c)10%
17	a) 3% b) 7% c)10%
14	a) 3% b) 7% c)10%
15	a) 3% b) 7% c)10%

3.3 Caracterización de látex

3.3.1 Temperatura de transición vítrea.

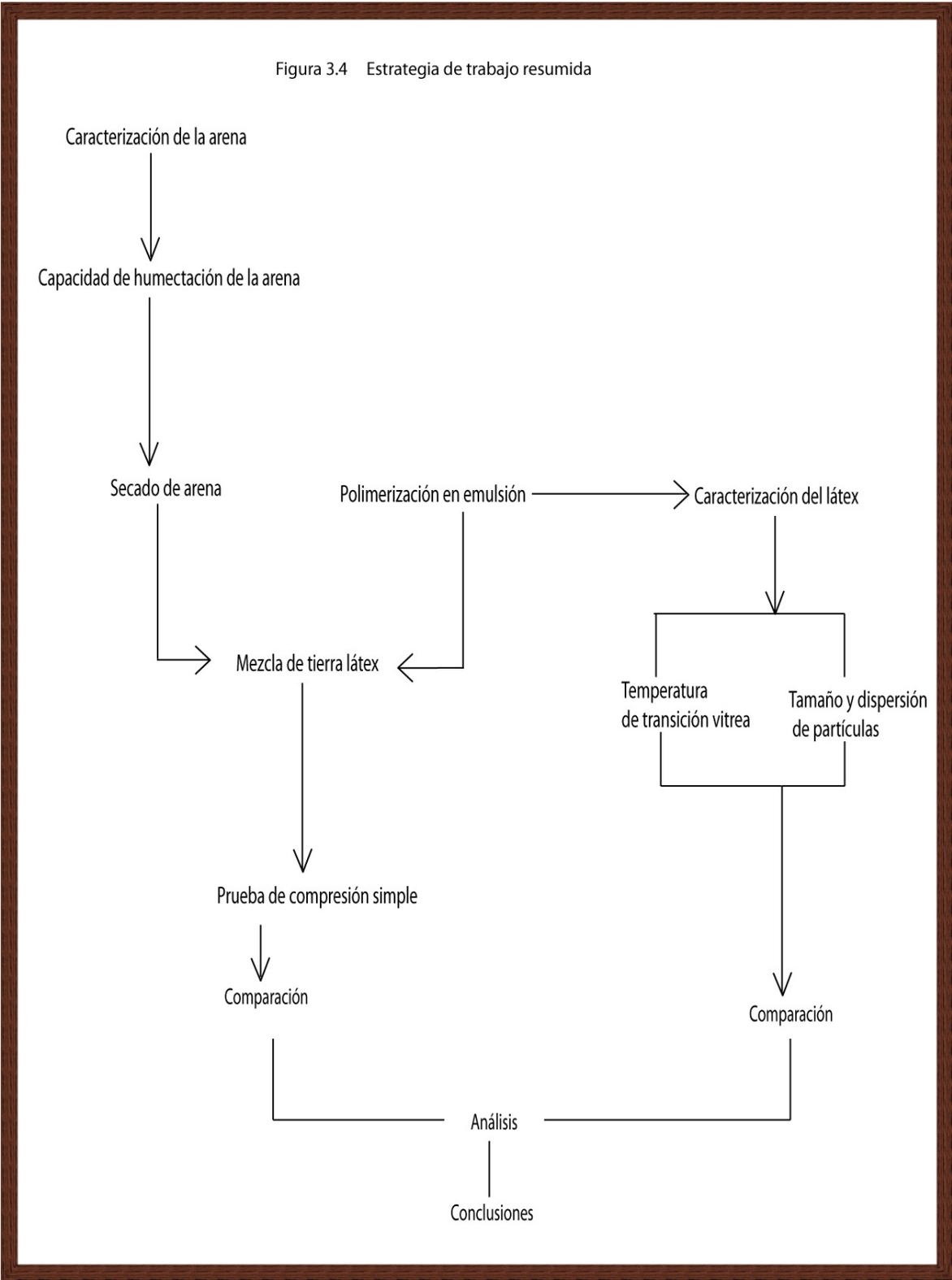
1. Tomar una muestra del látex de aproximadamente 20 mL y desestabilizar por medio de enfriamiento
2. Filtrar a temperatura ambiente, lavando varias veces hasta quedar únicamente el polímero sin agua.
3. Mandar a DSC, en donde se agrega una pequeña muestra en una charola que tiene el DSC y le programan un rango de temperatura de -100 a 100 °C. y una rapidez de calentamiento de 10° C/min.

3.10 Porcentaje en sólidos de látex

3.3.2 Tamaño y dispersión de partículas.

1. Tomar una muestra de 5mL de látex.
2. La muestra a analizar debe estar homogénea.
3. Agregar a la celda del dispersor de luz Mastersizer, una o dos gotas y diluir con agua deionizada.
4. Colocar la celda en el interior del analizador, cerrar el compartimiento y esperar a que se estabilice.
5. Especificar en el programa del Mastersizer el índice de refracción de las partículas a medir (aprox.1.395 para este caso).
6. Por medio del teclado del Mastersizer, iniciar la determinación de distribución y diámetro de partículas.

3.4 Estrategia de trabajo resumida



RESULTADOS.

Introducción

Los resultados más importantes, de acuerdo a los objetivos, generados en este trabajo arrojan una serie de datos que, para ser más asimilables hacia una correcta interpretación y comparación, se condensaron en gráficos. Estos se dividen en 6 a saber:

1. Cinética de reacción de los látex caboxilados desde el inicio, látex1-7, (Figuras 4.1) y látex 8-12 carboxilados por disparo a las 3 hrs. con 20 min. y látex 13-17 sin carboxilar (Figura 4.2).
2. Resistencia a la compresión de las probetas tierra-látex a diferentes proporciones de VA/BA/MMA de látex, carboxilados desde el inicio (Figura 4.6), carboxilados por disparo (látex 8-12) y sin carboxilar (látex 13-17) (Figura 4.8).
3. Resistencia a la compresión de las probetas tierra-látex a diferentes concentraciones, látex 8-12 carboxilados y látex 13-17 sin carboxilar (Figura 4.9).
4. Temperaturas de transición vítrea de los látex 8-17 (Figura 4.11).
5. Tamaño y dispersión de partículas de los látex 8-12 sin carboxilar (Figura 4.12) y caboxilados 13-17 (Figura 4.13).

A su vez se separan los primeros siete látex, y no se muestran sus caracterizaciones de tg, tamaño y dispersión de partículas, ya que con ellos se estaba probando la cantidad de emulsificante que se debía poner para mantener los látex estables temporalmente.

Cabe hacer notar que las pruebas anteriores a los látex 8-17 sirvieron también para afinar las experimentaciones, encontrar la mínima cantidad de emulsificante que se debía poner en estos sistemas, notar que la alimentación al inicio de carboxilante inhibía la reacción (figura 4.1) y que la relación entre masa y volumen puesta en las probetas había que mantenerse constante para que no influyese como variable a la hora de medir la resistencia a la compresión.

4.1 Síntesis de látex (ver tabla de apéndice A1.3)

Figura 4.1 Cinética de reacción de los látex 1-7.

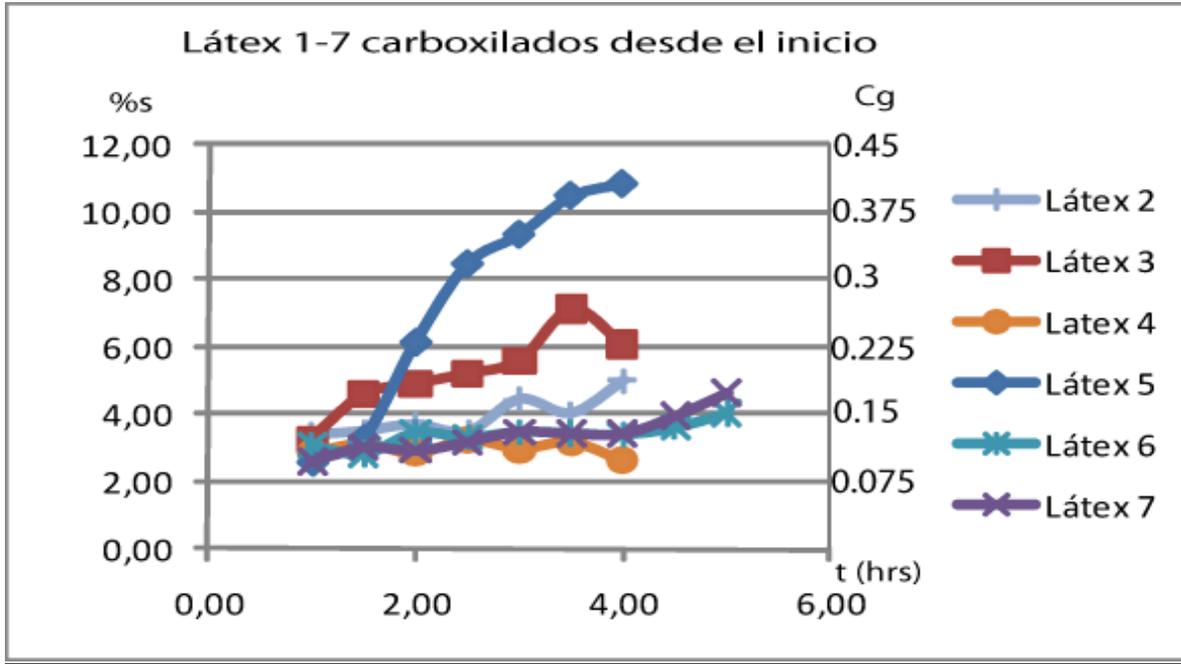
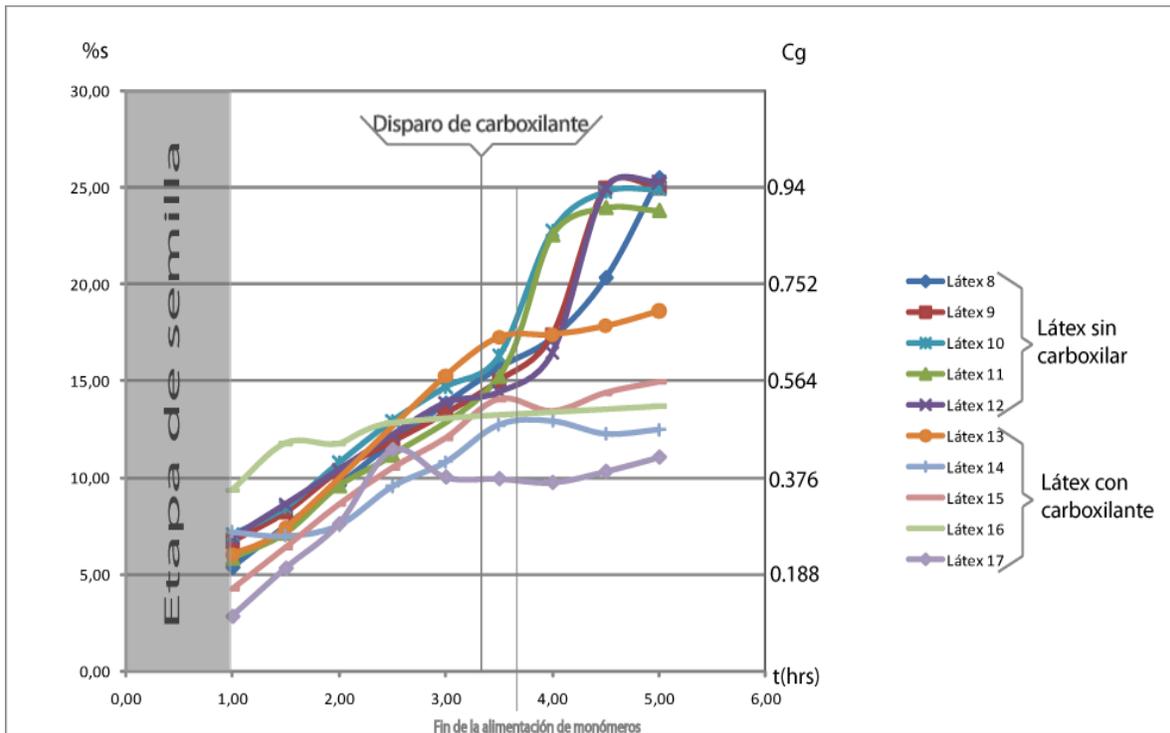


Figura 4.2 Cinética de reacción de los látex 8-17.



4.2 Caracterización del suelo

(Prueba de tamizado según norma D-6213-04)

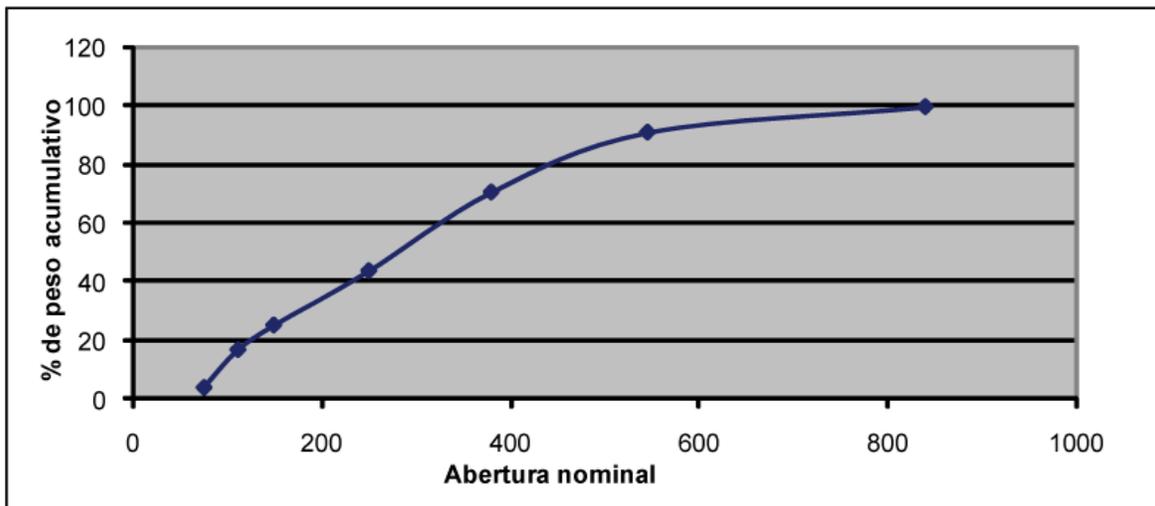
Masa total tamizada: 87 g

Tiempo de tamizado: 20 minutos

Tabla 4.17 Distribución del tamaño de partículas de la tierra volcánica del Ajusco.

Malla	Escala de tamaño de criba de criba [μm]	Fracciones de criba		Tamaño de abertura nominal	%Acumulativo de finos	%Acumulativo de gruesos
		Peso* [g]	% en peso			
20	+841	0,60	0,69	841	99,38	0,62
30	-841+546	7,40	8,52	546	90,71	9,29
40	-546+380	17,80	20,48	380	70,31	29,69
60	-380+250	23,30	26,81	250	43,50	56,5
100	-250+149	16,10	18,53	149	24,97	75,03
130	-149+111	7,20	8,29	111	16,6	83,4
200	-111+75	11,30	13,00	75	3,68	96,32
	-75	3,20	3,68			

Figura 4.3 Porcentaje de acumulativos del suelo contra abertura nominal.



4.3 Pruebas de compresión simple

Prueba de humectación: 54 g de agua en 320 g de tierra para generar una pasta homogénea.

Tabla 4.18 Resultados de la compresión simple de las probetas tierra-látex con carboxilante agregado desde el inicio.

L	% s	p ^{4.5} [psi]	Observaciones
1			Se generaron dos fases al término de la reacción. Por lo que se descartan para la prueba de compresión.
2			Se generaron dos fases al término de la reacción. Por lo que se descartan para la prueba de compresión.
3	3%	58	Se agregó la tierra-látex con la mezcla hasta llenar el cilindro.
4			Se generaron dos fases al término de la reacción. Por lo que se descartan para la prueba de compresión.
5	a)3% b)10% c)17%	12 92 146	Se agrego la tierra-látex con la mezcla hasta llenar el cilindro.
6	3%	0	Se agregó la tierra-látex con la mezcla hasta llenar el cilindro.
7	3%	100	Se agregó la tierra-látex con la mezcla hasta llenar el cilindro.
Mezcla al 50% del látex 5 y 6	3%	20	Se agregó la tierra-látex con la mezcla hasta llenar el cilindro.

Tabla 4.19 Resultados de la compresión simple de las probates tierra-látex sin carboxilante

L	% s	P [psi]	Observaciones
8	a)3% b)7% c)10%	2.7 17.2 29.4	Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro.
9	a) 3% b)7% c) 10%		Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro. El látex que se agrego a la tierra presentaba coagulados (se agitó antes de mezclarse).
10	a) 3% b)7% c) 10%	7.0 22.2 32.2	Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro.
11	a) 3% b)7% c) 10%	5.8 12 27.2	Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro.
12	a) 3% b)7% b)10%	6.0 17.2 22.1	Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro.

4.5 Resistencia a la compresión en [lb/in²]

Tabla 4.20 Resultados de la compresión simple de las probetas tierra-látex con carboxilante agregado a las 3 hrs con 20 minutos de iniciada la reacción.

L	% s	P [psi]	Observaciones
13	a) 3%	19.8	Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro. No se cuartea al 10 %
	b) 7%	26.8	
	c)10%	30.0	
14	a) 3%	23.2	Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro. No se cuartea al 10 %
	b) 7%	48.8	
	c)10%	80.0	
15	a) 3%	20.8	Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro. No se cuartea al 10 %
	b) 7%	54.0	
	c)10%	50.0	
16	a) 3%	11.4	Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro. No se cuartea al 10 %
	b) 7%	44.0	
	c)10%	44	
17	a) 3%	0	Se agregaron 59.5 g de la mezcla tierra-látex al cilindro. No se cuartea al 10 %
	b) 7%	0	
	c)10%	11.07	

4.4 Caracterización de látex

Tabla 4.21 Caracterización de los látex con dispersor de luz con los tamaños de partícula promedio (Ver gráficas en apéndice).

L	Dp ^{4.6}	% V ^{4.7}	Dp	% V	Dp	% V
#	μm	%	μm	%	μm	%
8	0.18	60.18	107	39.82		
9	105	89.94	0.15	10.06		
10	105	100				
11	107	100				
12	105	89.16	0.15	10.84		
13	0.8	50.730	9	40.800	100	8.470
14	0.2	100				
15	108	92.2	0.4	7.8		
16	0.5	53.36	110	46.65		
17	0.3	97.78	1.5	2.22		

4.6Diámetro de partícula promedio

4.7Porcentaje en volumen

Tabla 4.22 Tg promedio medidas con DSC (Ver gráficas completas en apéndice).

L	VA/BA/MMA/AMA	Tg ₁	Tg ₂
#	phm	[°C]	[°C]
8	60.00/30/10/0	3.44	
9	60.00/25/15/0	9.83	49.42
10	60.00/20/20/0	-1.11	51.47
11	60.00/15/25/0	44.96	66.11
12	60.00/10/30/0	-7.36	41.73
13	60.00/30/10/1	11.00	
14	60.00/25/15/1	6.42	43.48
15	60.00/20/20/1	19.02	34.64
16	60.00/15/25/1	15.46	42.2
17	60.00/10/30/1	22.34	71.94

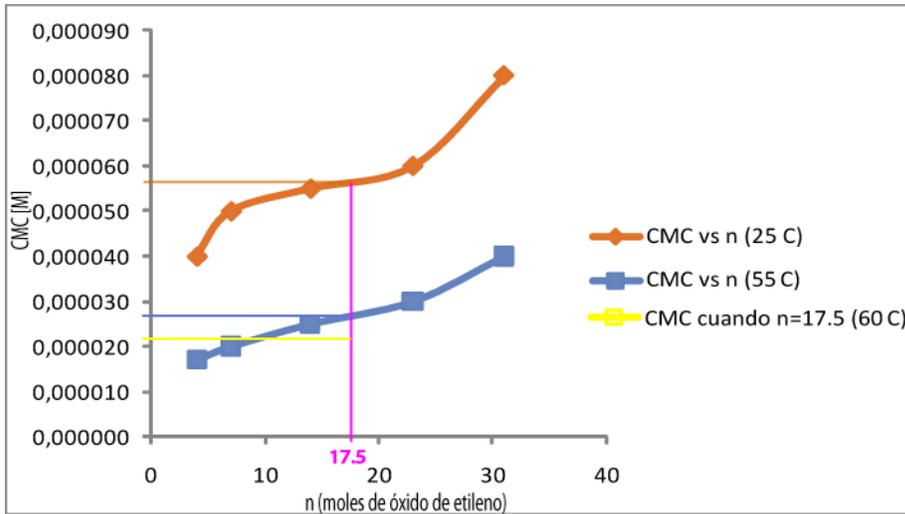
No se enviaron los látex 1-7 a caracterización de tamaño de partícula ni Tg debido a inconsistencias en los experimentos e inestabilidad en la reacción de algunas de ellas (Ver análisis de la síntesis de látex 1-7, capítulo 4.6).

4.5 Caracterización del tensoactivo.

Tabla 4.23 Datos de alcohol dodecílico con n moles de óxido de etileno reportados en literatura [Rosen, 1984].

n (Moles de óxido de etileno)	Temperatura °C	CMC [mol/lts]
4	25	4X10 ⁻⁵
4	55	1.7X10 ⁻⁵
7	25	5.0 X10 ⁻⁵
7	55	2.0 X10 ⁻⁵
14	25	5.5 X10 ⁻⁵
14	55	2.5 X10 ⁻⁵
23	25	6.0 X10 ⁻⁵
23	55	3.0 X10 ⁻⁵
31	25	8.0X10 ⁻⁵
31	55	4.0 X10 ⁻⁵

Figura 4.4 Comportamiento de la CMC vs n. Gráfica de los valores encontrados en literatura y solución gráfica para el dodecil etoxilado con 17.5 óxidos de etileno a diferentes temperaturas.



La solución se hizo por dos métodos:

- i. Método de regresión polinomial de cuarto orden con el programa Excel®.

Ecuación para CMC vs n a 25 °C

$$CMC = -2.5 \times 10^{-10} n^4 + 2.46 \times 10^{-8} n^3 - 7.5777 \times 10^{-7} n^2 + 9.5618 \times 10^{-6} n + 1.2367 \times 10^{-5}$$

$$R^2 = 1$$

Ecuación para CMC vs n a 55 °C

$$CMC = 4.2 \times 10^{-11} n^4 - 1.034 \times 10^{-9} n^3 - 2.1323 \times 10^{-8} n^2 + 1.3007 \times 10^{-6} n + 1.2194 \times 10^{-5}$$

$$R^2 = 1$$

- ii. Método gráfico con ayuda del programa de diseño gráfico Adobe Illustrator®.

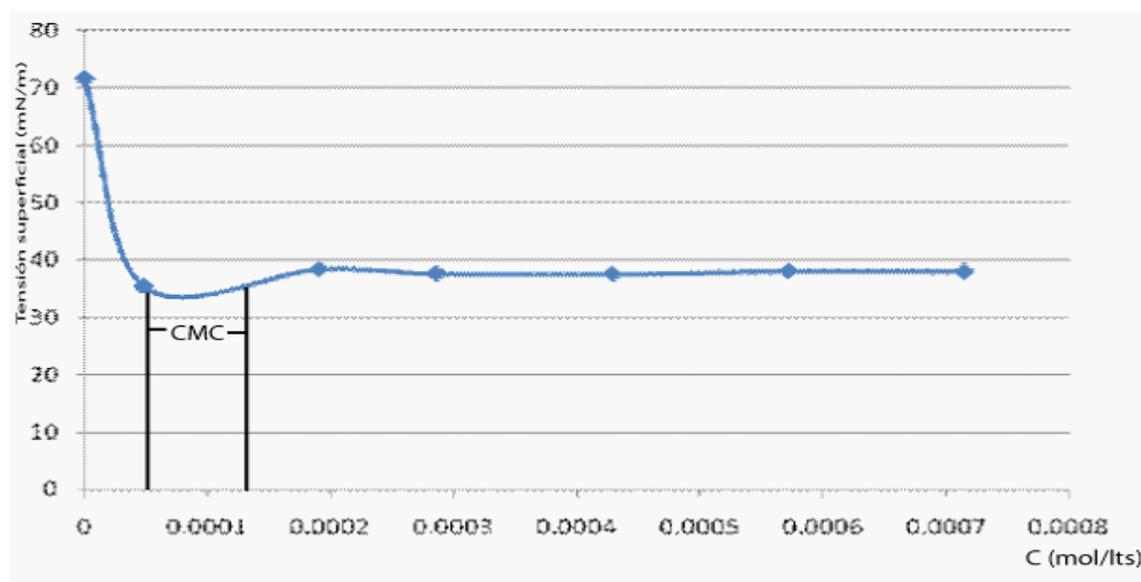
4.24 Datos estimados de CMC a diferentes temperaturas de alcohol dodecílico con 17.5 moles.

n (Moles de óxido de etileno)	Temperatura °C	CMC [M]
17.5	25	5.6×10^{-5}
	55	2.7×10^{-5}
	60	2.2×10^{-5}

Tabla 4.25 Resultados de la medición de tensión superficial del surfacpol EL-17.5 en agua (alcohol dodecílico con 17.5 moles de óxido de etileno) a 25 °C con tensiómetro de du Noüy electrónico K12.

C [mol/lts]	Tensión superficial [D/cm]
0	71.58
4.8X10 ⁻⁵	35.41
1.9X10 ⁻⁴	38.39
2.8 X10 ⁻⁴	37.63
4.3 X10 ⁻⁴	37.5
5.7 X10 ⁻⁴	38.04
7.1 X10 ⁻⁴	37.99

Figura 4.5 Tensión superficial de disoluciones acuosas de surfacpol EL-17.5 a diferentes concentraciones [D/cm].



La CMC se encuentra entre 5×10^{-5} y 1.3×10^{-4} mol/lts.

Tabla 4.26 Concentración a la que se trabajó en número de veces la CMC a 25 °C:

Látex	E (g)	A (mL)	Número de CMC Experimental	Número de CMC teórica	Estabilidad temporal de Látex
1	1.5	300	40-104	93	No se logró estabilidad
2	5	300	134-348	311	No se logró estabilidad
3	6	300	161-418	373	Estable 2 semanas
4	6	300	161-418	373	No se logró estabilidad
5-13	7	300	188-488	435	Estable 2 semanas

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.6 Análisis de la síntesis de látex 1-7.

La conversión global de los monómeros en los látex sintetizados 2-7 tuvieron las siguientes magnitudes.

Tabla 4.27 Conversión global (Cg) de las reacciones 2-7.

t (hrs)	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7
	Cg	Cg	Cg	Cg	Cg	Cg
1.0	0,13	0,12	0,11	0,10	0,12	0,10
1.5	0,13	0,17	0,12	0,12	0,11	0,11
2.0	0,14	0,18	0,11	0,23	0,13	0,11
2.5	0,13	0,20	0,12	0,32	0,12	0,12
3.0	0,17	0,21	0,11	0,35	0,13	0,13
3.5	0,15	0,27	0,12	0,39	0,13	0,13
4.0	0,19	0,23	0,10	0,41	0,13	0,13
4.5					0,14	0,15
5.0					0,15	0,17

Los primeros 7 látex tuvieron las siguientes condiciones inapropiadas:

- El monómero carboxilante fue agregado desde el inicio con los monómeros y por ser polar y más denso, se sedimentaba en la parte más baja de la alimentación e inclusive se vio al terminar la síntesis del látex 6 que permanecían residuos de este en la válvula de al terminar la reacción.
- Coagulación inmediata de algunas de ellas debido a insuficiencia de emulsificante.
- No se les agregó la misma cantidad de mezcla tierra látex en las probetas, es decir, que las probetas deben tener la misma relación entre masa y volumen, de lo contrario las que tienen mayor masa en un mismo volumen pueden presentar mayor resistencia a la compresión, y entonces implicaría meter una nueva variable a analizar (ver tabla 4.2), Otra manera de decirlo, es que esto puede propiciar que la resistencia entre un mismo látex con las mismas concentraciones de sólidos tenga mayor o menor resistencia a la compresión dependiendo de qué tanta masa se haya metido en cada probeta.

- Se forzó a la máquina de compresión simple para que generara mayor presión después de haberse deformado las probetas hasta que hubiese un cuarteamiento.

Por lo que la cinética de reacción y pruebas de compresión no son confiables.

Estos problemas en la metodología y en la síntesis de los látex sirvieron para mejorar los siguientes sistemas (8-17).

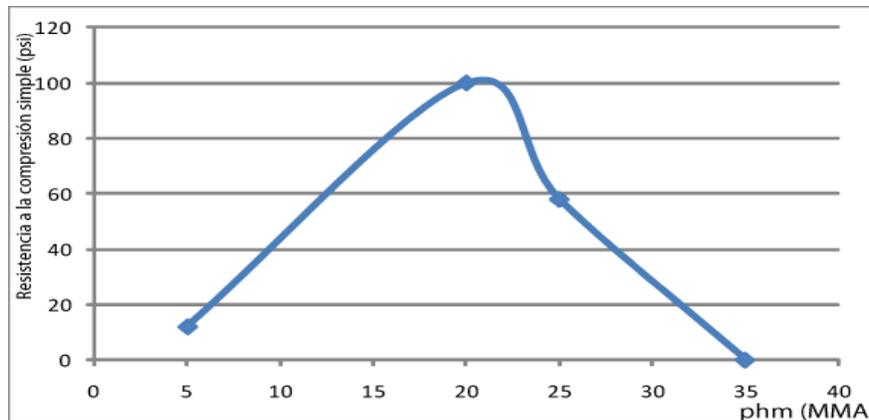
Cabe destacar que, siguen la misma tendencia de resistencia a la compresión que los demás látex (figura 4.6 y 4.8) y que a pesar de no ser idónea la manera de comprimirse las probetas, los resultados nos dan una idea de la magnitud (100-146 psi), que puede alcanzar una probeta quedando deformada pero sin que estas se desquebrajen.

Dado que la composición de los polímeros en emulsión solo cambia con respecto a la cantidad de BA/MMA :

L	VA	BA	MMA
#	phm	phm	phm
1	60.00	x	y

y que además están relacionadas proporcionalmente, ($x+y=40$ phm) se puede generar una gráfica en dos dimensiones únicamente tomando en cuenta la cantidad de metacrilato de metilo contra resistencia a la compresión de las probetas.

Figura 4.6 Resistencia a la compresión simple de las probetas 1-7 con látex al 3% en sólidos de látex y con el carboxilante alimentado junto con los monómeros desde el inicio.



4.7 Análisis de la síntesis de látex 8-17.

La conversión global de los monómeros en los látex sintetizados tuvieron las siguientes magnitudes:

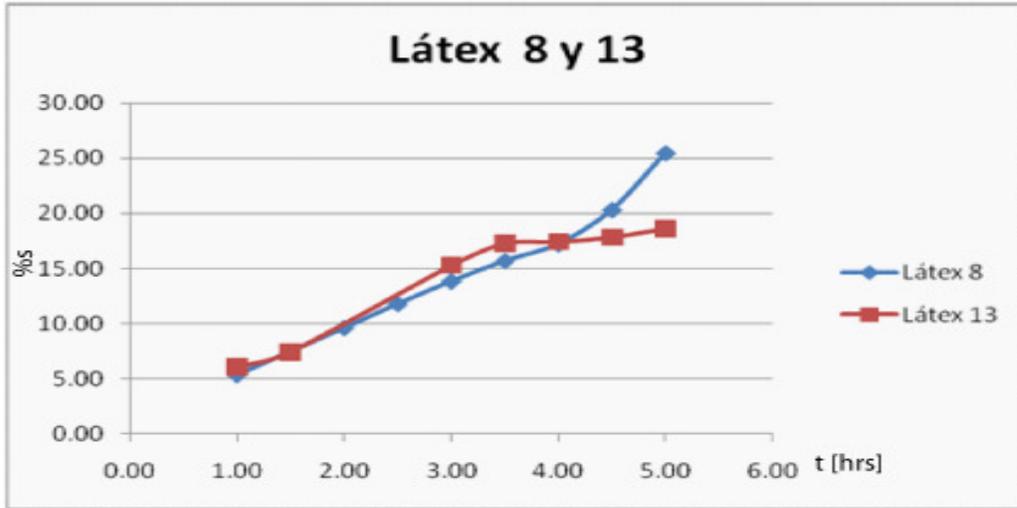
Tabla 4.28 Conversión global (Cg) de las reacciones 8-17.

t	L 8	L 9	L 10	L 11	L 12	L 13	L 14	L15	L 16	L 17
(hrs)	Cg									
1.0	0,20	0,25	0,27	0,22	0,26	0,23	0,27	0,16	0,35	0,11
1.5	0,25	0,31	0,32	0,27	0,33	0,28	0,26	0,24	0,44	0,20
2.0	0,36	0,39	0,41	0,36	0,39	0,35	0,28	0,32	0,44	0,29
2.5	0,45	0,45	0,49	0,42	0,46	0,45	0,36	0,39	0,48	0,43
3.0	0,52	0,50	0,56	0,50	0,53	0,57	0,41	0,45	0,50	0,38
3.5	0,59	0,57	0,62	0,58	0,55	0,65	0,48	0,53	0,50	0,37
4.0	0,65	0,66	0,86	0,85	0,62	0,65	0,48	0,50	0,51	0,37
4.5	0,77	0,95	0,94	0,91	0,95	0,67	0,46	0,54	0,50	0,39
5.0	0,96	0,95	0,94	0,90	0,96	0,70	0,47	0,56	0,51	0,42

Las reacciones 8 a 12 (fig, 4.1), las cuales no tienen carboxilante, siguen casi la misma tendencia de rapidez de reacción lo cual nos puede indicar que la reacción esta en un estado hambriento, esto puede ser corroborado si se toman en cuenta la conversión instantanea (CI) igual al 100 % (ver apendice látex 7-12). En otras palabras, los monómeros al ser alimentados reaccionan inmediatamente. También podemos ver que se presenta, después de terminada la alimentación de monómeros el efecto gel o Trommsdorff, un fenómeno de auto-aceleración debido a cambios en la constante de terminación como consecuencia de un incremento de la viscosidad en el medio de reacción que disminuye la difusión del monómero en la partícula de polímero.

Para los látex 13-17 al adicionar el carboxilante la rapidez de reacción decrece para todas las reacciones como podemos observar en la figura 4.7, en donde se encuentra el avance de la reacción de los látex 8 y 13 cuya composición solo cambia por el carboxilante suministrado en el tiempo 3 hrs con 20 min. Posiblemente por contenido de inhibidores en el carboxilante.

Fig. 4.7 Rapidez de reacción de los látex 8 y 13.



Es casi inmediato este comportamiento para las primeras 7 reacciones (figuras 4.1 y 4.7), cuya carboxilante fue agregado desde el inicio.

Esto es un inconveniente ya que genera inestabilidad al látex y baja concentración de sólidos, lo que refleja en mayor costo de producción.

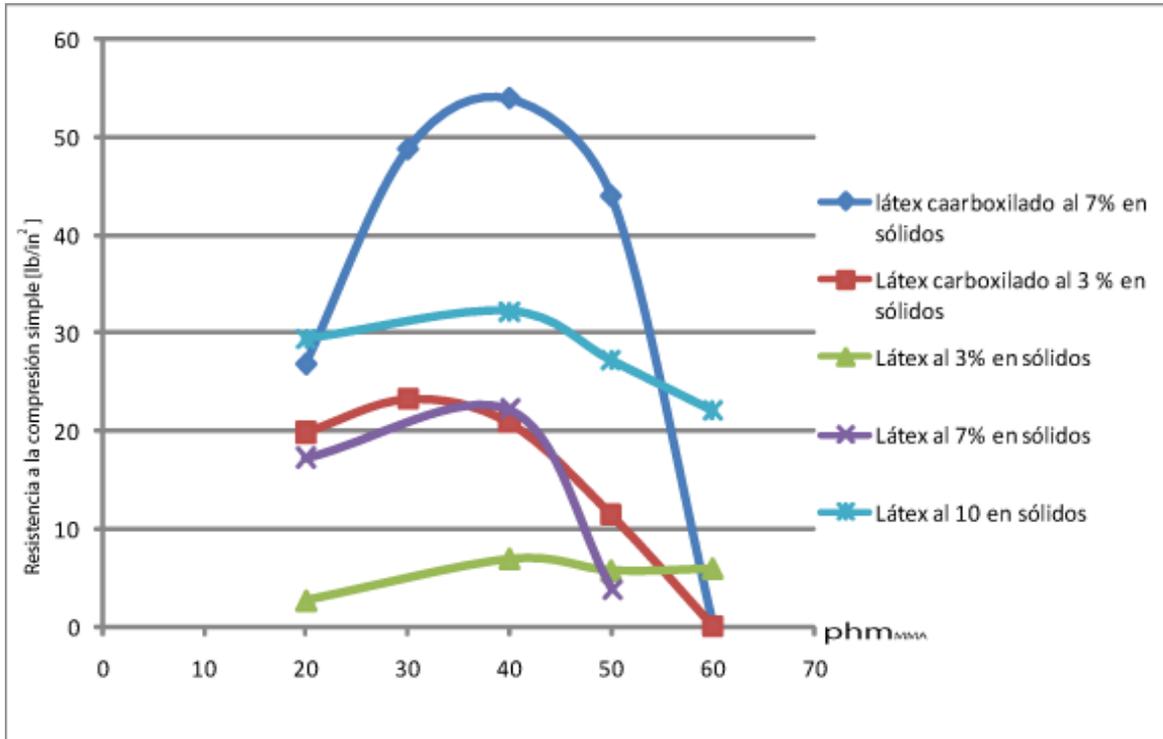
4.8 Análisis de la caracterización de arena volcánica.

Como más de la mitad del material es retenido en la malla Número 200 y más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla Numero 4 entonces según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.). ASTM D 2487-93, puede ser clasificado como arena de tipo SW ó SP (arenas bien graduadas, arena con gravas, pocos finos).

4.8 Análisis de la prueba de compresión simple

Para las primeros siete pruebas no se tomó en cuenta la relación masa/volumen (tabla 4.18) de las probetas y se llenaron de la mezcla sin medir las masas que se agregaban de tierra-látex pudiendo generar que las que tuviesen mayor masa en el mismo volumen resistieran mas a la compresión simple comparadas con las que tuviera menor masa en el mismo volumen.

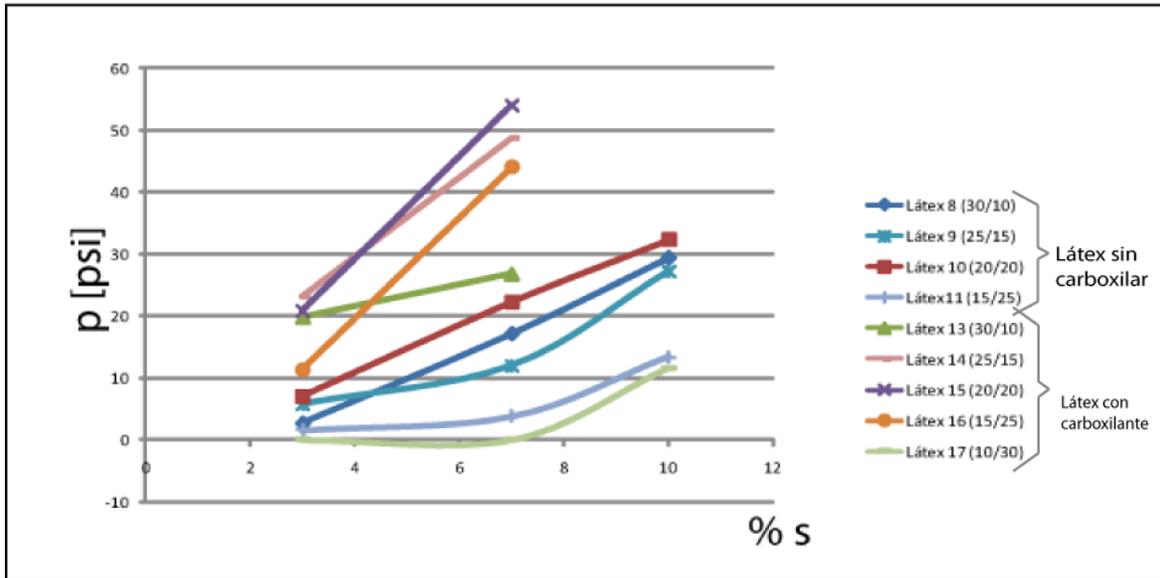
Figura 4.8 Prueba de compresión simple de los látex 8-17 (Efecto de la composición sobre la resistencia).



El látex 9 (15 phm_{MMA}) presenta coagulos a la hora de hacer las mezclas de tierra látex, esto probablemente provocó que la mezcla de agua látex tuviera menor porcentaje de sólidos al establecido y por ende presentara menor resistencia a la compresión.

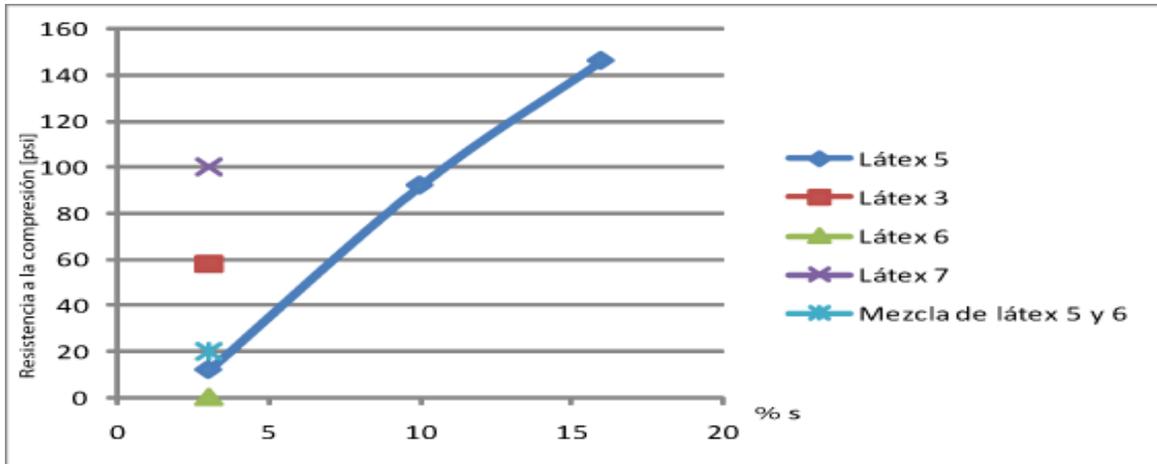
La carboxilación da una mejoría a la resistencia de los sistemas, esto debido a que se hace mas pegajoso el látex y entonces aglomera mejor las partículas sólidas del suelo.

Figura 4.9 Compresión simple de la mezcla tierra-látex con los látex 8-13 sin carboxilar y 14-17 carboxilados por disparo a las 3 hrs. con 20 min. a diferentes porcentajes en sólidos (Efecto de la concentración de sólidos de látex en la resistencia).



Se puede apreciar el hecho de que algunos látex siguen una tendencia casi lineal de mejoramiento. La alta dispersión del suelo hace que aumente la resistencia mecánica, esto debido a que cuando se compacta la tierra se puede acomodar más fácilmente, al agregar látex al suelo podemos mejorar la cohesividad de las partículas de arena pero disminuir la distribución de las mismas al aglomerar sus partículas y esto puede verse reflejado en una disminución en la resistencia de compresión del suelo. Es por esta razón que se puede explicar porque no todas las pruebas de compresión tienen una tendencia marcadamente lineal (látex 9, 11 y 17).

Figura 4.10 Compresión simple de la mezcla tierra-látex de los látex 1-7 carboxilados desde el inicio a diferentes porcentajes en sólidos (Efecto de la concentración de sólidos de látex en la resistencia).



Es nuevamente importante recalcar que se forzó la máquina de compresión simple para que generara mayor presión en las probetas con látex 1-7 después de deformarse estas, por lo que las magnitudes de los primeros 7 sistemas tierra-látex no son confiables.

Los látex 5 y 6 hacen sinergia (tabla 4.18) al ser mezclados, esto quizá debido a una mayor distribución del tamaño de partículas permite mejorar la resistencia a la compresión de las probetas.

4.9 Análisis de las Tg

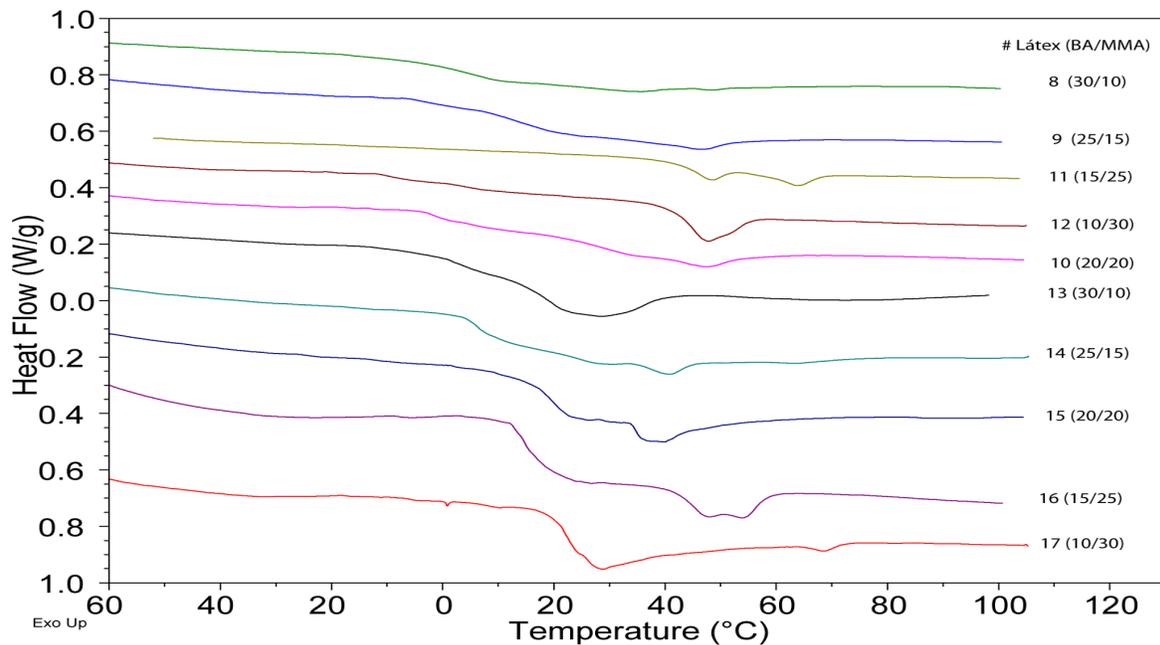
Tabla 4.29 Tabla de Tg promedio medidas con DSC (ver gráfica en apéndice) y teóricas (ec. 1.1).

L ⁽¹⁾	VA/BA/MMA/AMA	Tg ₁	Tg ₂	Tg teórica	Rigidez de la película (R)
#	phm	[°C]	[°C]	[°C]	Prueba cualitativa
8	60/30/10/0	3.44		3.7	1
9	60/25/15/0	9.83	49.42	11.5	2
10	60/20/20/0	-1.11	51.47	19.9	3
11	60/15/25/0	44.96	66.11	28.7	4
12	60/10/30/0	-7.36	41.73	38.1	5
13	60/30/10/1	11.00		4.4	1
14	60/25/15/1	6.42	43.48	12.2	2
15	60/20/20/1	19.02	34.64	20.5	3
16	60/15/25/1	15.46	42.2	29.3	4
17	60/10/30/1	22.34	71.94	38.7	5

En la figura 4.11 se muestran los DSC, en los cuales se puede considerar una deriva de composiciones copolimérica para la mayoría de los látex sin ninguna homopolimerización aparente de acrilato de butilo y acetato de vinilo (tabla 1.1).

La última columna de la tabla 4.29 presenta una prueba cualitativa que se realizó a las películas formadas con los diferentes látex que consistía en doblar la película formada en las charolas que se utilizaron para gravimetría y en base a como se siente darle un grado de dureza. Se asignó con números del 1 al 5 el grado de dureza. Siendo el 1 para la menos dura y la 5 para la más dura.

Figura 4.11 Tg de los látex 8-17.



4.10 Análisis del tamaños de partículas de los látex.

Los tamaños de partículas de todos los látex varían en promedio entre 0.04-500 micrómetros.

El tiempo de vida aproximada para los látex 8-17 sin coagular fue de aproximadamente 2 semanas. Por lo que, si se requiere incrementar este tiempo, habrá que aumentar o agregar otros tensoactivos.

Los látex carboxilados tienen mayor distribución de tamaño de partículas que los que no están carboxilados. Al parecer el carboxilante desestabiliza las micelas de monómero-polímero y genera nucleación homogénea. A excepción de los látex 8 y 15 los látex

carboxilados tienen menor tamaño de partículas que los que no están carboxilados. También podemos observar que al único látex que el carboxilante no le cambia su tamaño de partículas, es al látex 15 y que las probetas que superior compresión obtuvieron fueron las que poseyeron mayor número de partículas con mayor diámetro (Látex 10 y 15). Sin embargo no existe una tendencia lineal, ya que aunque podemos notar que el látex 17, que tiene el menor diámetro de partícula, es el que presentó la menor resistencia a la compresión no pasa lo mismo para el látex 14 que presenta mayor resistencia a pesar de tener un menor tamaño de partícula que el látex 13.

Figura 4.12 Distribución del tamaño de partículas de los látex sin carboxilar 8-12

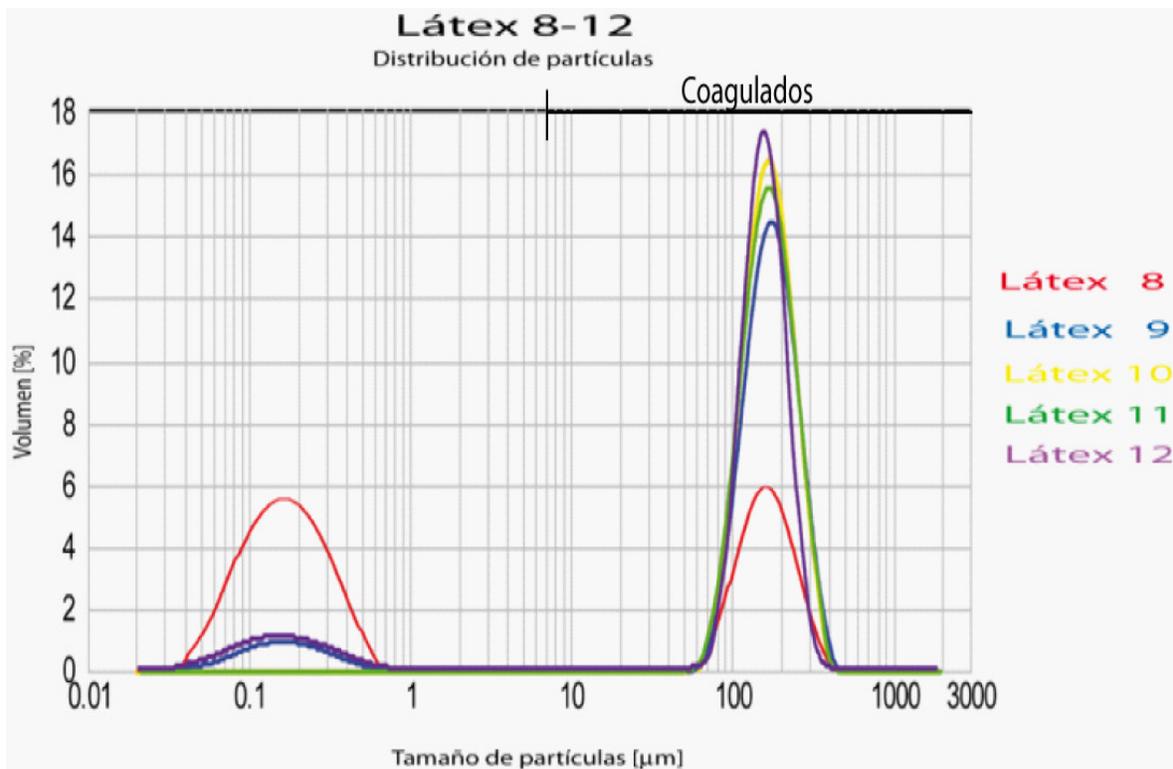
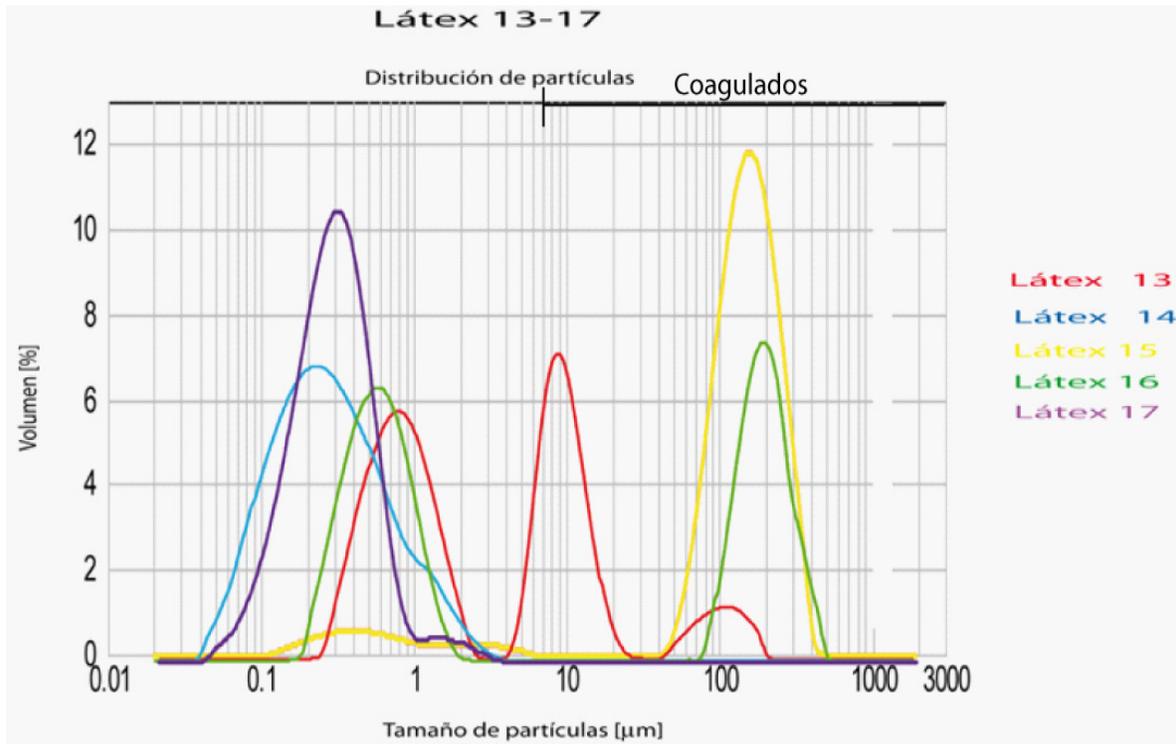


Figura 4.13 Distribución del tamaño de partículas de los látex carboxilados 12-17



Se puede apreciar que los látex que mas resistieron a la compresión simple (látex 10 y 15) poseen mayor número y tamaño de partícula, sin embargo No todos los látex presentan esta misma relación esto quizá también sea debido a que se pueden mejorar algunas propiedades en específico al agregar el látex a la arena y al mismo tiempo adoleciendo otras que ayudan a que la arena tenga mayor resistencia a la compresión. Un ejemplo de esto es que conforme se hace más adhesivo el látex, aglomera mas partículas de suelo pero disminuye la distribución de las partículas del suelo e implica que disminuya el arreglo de las partículas y disminuya su resistencia al ser comprimidas.

4.11 Usos finales

Tomando en cuenta una persona promedio de 70 kg⁵ y (26 cmX6cm como área del pie) que ejerce una presión de $0.449 \frac{kgf}{cm^2}$ se puede recomendar entonces el látex 15 que

soporta hasta 54 psi, equivalente a $3.8 \frac{kgf}{cm^2}$ sin deformación ni desquebrajamiento para uso en terracerías ya que podría soportar hasta el hombre más pesado de México y el mundo quien llegó a pesar 560 kg [Terra México] ($3.60 \frac{kgf}{cm^2}$ calzando del 26 cm).

Normalmente en cualquier terracería en donde se vaya a poner asfalto primero se rasca la tierra, se agrega agua y luego se pasa una aplanadora de varias toneladas. Se puede recomendar en lugar de poner agua, agregar este tipo de látex al 7 % para el mejoramiento de la vida media de este y compararla con un patrón para saber si verdaderamente vale la pena agregarlo.

Se logró confirmar que los látex con más acrilato de butilo son más elásticos, esto con pruebas totalmente cualitativas (tabla 4.29) que constaban en arrancar las películas de las muestras de los látex que se sacaban del reactor, ya cuando estaban secas, y se les estiraba. Al mismo tiempo se observó una propiedad muy interesante que no se había tomado en cuenta, que es la restitución del látex (memoria) cuando se rompe, esto podría ser benéfico también al estabilizar los suelos, ya que si hubiese un lugar con peligro de desgaje o deslave, entonces solo se rompería una parte y el látex funcionaría como una especie de resorte, impidiendo así la transferencia de momentum que pudiera desembocar en una avalancha o talud.

Por último, tomando en cuenta Ley de Stokes, se puede afirmar que el látex, al aglomerar partículas de suelo, aumentara la velocidad de precipitación libre y reducirá problemas tales como tolveneras.

Normalmente lo que se hace para evitar tolveneras es agregar agua a las partículas para que haya cierta cohesividad por un tiempo y después apisonar, sin embargo esto no es muy práctico, pues al evaporarse el agua nuevamente quedan las partículas sueltas. Esto no pasa con los látex sintetizados, pues estos no se evaporan.

CONCLUSIONES

Los látex obtenidos en este trabajo tuvieron la composición general siguiente:

Tabla 5.1 Composición general para las reacciones en phm.

L	VA	BA	MMA	I	E	Agua
#	phm	phm	phm	phm	phm	phm
1	60.00	x	y	0.80	7.0	300.00

Donde $x+y=40$ phm

Estas reacciones se hicieron con dos condiciones distintas, a saber:

- Sin carboxilante (Experimentos 8-12)
- Con 1 phm de carboxilante, agregados por disparo a las 3hrs con 20 min de iniciada la reacción (Experimentos 13-17) y desde el inicio (experimentos 1-7).

Estos se mezclaron con un tipo de suelo, granular de tipo SW ó SP y se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Las reacciones se llevaron a cabo en estado hambriento, es decir, que la alimentación de monómeros es tan lenta que se polimeriza en el reactor inmediatamente después de que se agrega y su cinética de reacción es casi igual para todas las reacciones en este proceso semilotes (figura 4.2).
- A pesar de tener condiciones hambrientas, el terpolímero no es homogéneo, tal como puede notarse en los diagramas de temperatura de transición vítrea (figura 4.11)
- El carboxilante en el látex aumenta la resistencia a la compresión del suelo (figura 4.8) pero también hace que disminuya la rapidez de reacción (figura 4.7) por lo que si se recomienda agregarlo, pero casi al final de la reacción.

Conclusión y recomendaciones

4. La emulsión de látex se mantiene estable temporalmente por más de un día y menos de dos semanas a una concentración de tensoactivo surfacpol EL17.5 de

$$0.024 \left[\frac{\text{moles}_E}{\text{Its}_{\text{agua}}} \right].$$

5. Tal como se muestra en la figura 4.22, se puede apreciar que existe una tendencia de mejoramiento al aumentar el porcentaje de sólidos en todos los látex y de mejoramiento a la compresión del suelo mientras nos acercamos a la composición:

Tabla 5.2 Composición de látex que presenta la mejor consolidación de arena.

VA	BA	MMA	I	E	Agua
phm	phm	phm	phm	phm	phm
60.00	20	20	0.8	7.00	300.00

para las 2 condiciones distintas (látex 10 y 15). Teniendo mayor mejoramiento con los látex carboxilados.

6. Estos látex carboxilados por disparo a las 3 hrs con 20 min. mejoraron las características mecánicas de los suelos hasta 54 psi (látex 15) al 7 % en sólidos de látex para la probeta más resistente a la compresión y de 0 psi para la menos resistente.
7. Cabe destacar que algunas probetas pudiesen resistir más a la compresión sin presentar falla pero deformándose (abombamiento en la dirección radial) ya que tienen un componente elástico que no es posible cuantificar directamente con el aparato utilizado
8. A pesar de algunas inconsistencias en las primeras 7 pruebas se determinó que estas siguen la misma tendencia de resistencia a la compresión que los demás látex y que a pesar de no ser idónea la manera de comprimirse las probetas (ya que se forzaron a compresión después de deformación de su geometría), los resultados nos dan una idea de la magnitud (100 psi), que puede alcanzar una probeta quedando deformada pero sin que estas se desquebrajen con la mejor mezcla de tierra látex (látex 7 al 3% en sólidos de látex).

Conclusión y recomendaciones

9. Tal como se puede apreciar en la tabla 4.18, se observó una sinergia entre la mezcla de los látex 5 y 6. Esto quizá a la mayor distribución de partículas.
10. Las probetas generadas con los látex al 10 por ciento en sólidos no pudieron ser cuarteadas debido al componente elástico tan marcado.
11. El látex que mas resistió a la compresión no fue el que tenía mayor concentración de MMA los cuales tuvieron cualitativamente mayor rigidez de su película. Esto se puede deber a que se hace quebradizo el material y/o que genera una menor cohesividad entre las partículas de tierra látex.

Recomendaciones

1. Cabría hacer pruebas con los sistemas menores al 7 (tabla 3) para ver si se pueden obtener mejores o iguales magnitudes a la compresión de probetas-látex, pues, al tener mayor porcentaje de acetato de vinilo se reduciría los costos de materias prima.
2. El compresor de probetas cilíndricas Sand Strength Machine utilizado comprime a una velocidad inversamente proporcional a la resistencia de compresión de la probeta, por lo que para pruebas más finas es recomendable utilizar un aparato que comprima a velocidad constante, o que especifique la variabilidad de la velocidad de compresión.
3. Se recomienda aumentar un poco el flujo de alimentación hasta alcanzar el mínimo de tiempo en el cual se mantienen las condiciones hambrientas, para disminuir los costos de producción.
4. Si se cuenta con varios emulsificantes, hacer pruebas de emulsificación antes de hacer la reacción a la temperatura de operación con los distintos tipos de monómero para aproximar la cantidad de emulsificante que hay que agregar a la reacción.

Esta prueba puede desarrollarse de la siguiente manera:

- Mezclar agua con monómero a la temperatura de operación y agregar diferentes cantidades de emulsificante hasta encontrar la cantidad que permite generar una sola fase a la vista que permanezca estable temporalmente.

Conclusión y recomendaciones

5. Hacer una prueba de la cinética de reacción del polímero en emulsión a sintetizar con base a esto agregar el carboxilante, próximo al momento en que empiece a disminuir esta.
6. Utilizar como molde de las probetas un molde con baja energía superficial como el polipropileno o polietileno para que se pegue lo menos posible este a la tierra y/o utilizar un desmoldante como el silicón.
7. Se recomienda, para ver el comportamiento hacia la prueba de compresión simple, en nuevos experimentos hacer probetas con látex al 3.5, 5 y 6.5 % en sólidos de los látex. No se recomienda hacer látex de menos de 3% en sólidos de látex porque la probeta tierra-látex puede ser tan frágil que puede romperse al sacarse del molde.
8. Para las pruebas de compresión, formar probetas con la misma relación masa/volumen.
9. Al mostrarse un comportamiento demasiado elástico que deforma antes de cuartearse las probetas de tierra- látex al 10 % en sólidos de látex (tabla 4.20). se recomienda para este y más altos porcentajes de pruebas, hacer una compresión triaxial en lugar de una simple.
10. Hacer pruebas con los mismos sistemas con mas porcentaje en emulsificante Surfapcol EL-17.5 y menor iniciador, para observar cuanto tiempo duran sin coagularse los látex con el fin de mejorar su estabilidad.
11. En caso de utilizarse en terracerías, agregarse el látex después de hacer un arado en la tierra de máximo 10 cm de profundidad y después someterlo a compresión con rodillo. Dejar secar a cielo abierto cuando menos 2 días.
12. Hacer pruebas de compresión utilizando mezclas de diferentes látex ya que como se muestra en la tabla 4.18, último renglón, se pueden hacer látex cuya sinergia es efectiva.

Conclusión y recomendaciones

13. Tomando en cuenta ley de Stokes, se puede asegurar que estos látex pueden servir como antipolvo pues al aglomeran las partículas de suelo, acrecientan su tamaño y con ello aumenta la velocidad de precipitación de las partículas sólidas. Por lo que se recomienda hacer la experimentación conducente utilizando una proporción baja en porcentaje en sólidos, pues no se requiere de una consolidación alta.
14. Se deduce, que el tiempo de penetración del látex en el suelo debe ser bajo ya que los látex al 3% y 7% en sólidos presentan baja viscosidad (parecida al agua). Sin embargo es importante hacer una prueba de permeabilidad para conocer el tiempo y la penetración que existe en el suelo específico.
15. También es importante hacer prueba de permeabilidad después de aplicado el látex a las probetas ya que algunos suelos requieren de cierta impermeabilización para su mejor estabilización.

Cálculos

A1.1 phm

Para fines prácticos en las formulaciones de polímeros en emulsión se ponen las cantidades de ingredientes en términos de la masa total de monómeros [phm] y se calculan de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$m_{VA} + m_{BA} + m_{MMA} = m_{Tm}$$

$$phm_{VA} = \frac{m_{VA}}{m_{VA} + m_{BA} + m_{MMA}} \times 100\%$$

$$phm_{BA} = \frac{m_{BA}}{m_{VA} + m_{BA} + m_{MMA}} \times 100\%$$

$$phm_{MMA} = \frac{m_{MMA}}{m_{VA} + m_{BA} + m_{MMA}} \times 100\%$$

$$phm_I = \frac{m_I}{m_{Tm}} \times 100\%$$

$$phm_E = \frac{m_E}{m_{Tm}} \times 100\%$$

$$phm_{agua} = \frac{m_{agua}}{m_{Tm}} \times 100\%$$

Donde:

m_{Tm} =masa total de los monómeros (VA, BA, MMA)

m_{VA} =masa del acetato de vinilo

m_{BA} =masa del acrilato de butilo

m_{MMA} =masa del metacrilato de metilo

m_I =masa del iniciador

m_E =masa del emulsificante

m_{agua} =masa del agua

A1.2 Gravimetría.

La técnica de gravimetría es muy importante para saber el grado de conversión que tienen los monómeros en emulsión conforme transcurre el tiempo. Esta consiste en conocer la cantidad de una cierta sustancia contenida en una mezcla, a través de una separación física o química.

En el presente se sacó en un recipiente previamente pesado del reactor una muestra del látex, se pesó y seco en un horno a 60 °C para eliminar los compuestos volátiles y quedase únicamente los sólidos para volverles a pesar. Con estos datos podemos calcular el porcentaje en sólidos (%s), conversión global (Cg), e instantánea (Ci) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$W_h = (W_{ch} + W_h) - W_{ch}$$

$$W_s = (W_{ch} + W_s) - W_{ch}$$

$$\%s(t) = \frac{W_s(t) * 100}{W_h(t)}$$

$$\%s_T = \left(\frac{m_{VA} + m_{BA} + m_{MMA} + m_{AMA} + m_I + m_E}{m_{VA} + m_{BA} + m_{MMA} + m_{AMA} + m_I + m_E + m_{\text{agua}}} \right) * 100\%$$

$$Cg = \left(\frac{\%s(t)}{\%s_T} \right)$$

$$Ci(t_x) = \frac{m_{nv}(t_x)}{m_{nva}(t_x)}$$

$$m_{nva}(t_x) = m_{VA}(t_x) + m_{BA}(t_x) + m_{MMA}(t_x) + m_I(t_0 = 0) + m_E(t_0 = 0) + [1 - Ci(t_{x-1})]m_T(t_{x-1})$$

$$m_{nv}(t_x) = \left(\frac{\%s(t_x)}{100} \right) (m_T(t_x))$$

$$(m_T(t_x)) = m_{VA}(t_x) + m_{BA}(t_x) + m_{MMA}(t_x) + m_I(t = 0) + m_E(t = 0) + m_{\text{agua}}$$

$$m_{VA}(t_x) + m_{BA}(t_x) + m_{MMA}(t_x) = \langle Q_{vol}(t_x - ts) \rangle (f_{VA}, f_{BA}, f_{MMA}) \bullet \langle \rho_{VA}, \rho_{BA}, \rho_{MMA} \rangle$$

Para la etapa de semilla

$$m_{Tm} s = \left[\left(\frac{m_{VA}(t=0)}{\rho_{VA}} + \frac{m_{BA}(t=0)}{\rho_{BA}} + \frac{m_{MMA}(t=0)}{\rho_{MMA}} \right) - 200 \right] \langle (f_{VA}, f_{BA}, f_{MMA}) \rangle \bullet \langle \rho_{VA}, \rho_{BA}, \rho_{MMA} \rangle$$

$$Ci_s(t_s) = \frac{m_{nv}(t_s)}{m_{nva}(t_s)}$$

$$m_{nv}(t_s) = \left(\frac{\%s(t_s)}{100} \right) (m_T(t_s))$$

Donde:

m_{VA} =masa de acetato de vinilo [g]

m_{BA} =masa de acrilato de butilo [g]

m_{MMA} =masa de metacrilato de metilo [g]

m_{AMA} =masa de ácido metacrílico [g]

m_I = masa del iniciador, persulfato de potasio [g]

m_E =masa del emulsificante, Surfapol EL-17.5 [g]

m_{agua} =masa de agua [g]

$\%s(t)$ = porcentaje de sólidos al tiempo t

$\%s_T$ = porcentaje de sólidos totales

C_g = conversión global

t =tiempo [min]

W_{ch} =masa de la charola [g]

W_h =masa del látex al tiempo t [g]

W_s =masa de los sólidos del látex al tiempo t [g]

$Ci(t_x)$ =Conversión instantánea en el tiempo t_x .

$m_{nv}(t_x)$ =masa polimérica no volátil que reacciona en el tiempo t_x .

$m_{nva}(t_x)$ =masa polimérica volátil total de los componentes por reaccionar en el tiempo t_x .

$m_i(t=0)$ = Masa del componente i en el tiempo inicial.

$m_i(t_x)$ = Masa del componente i en el tiempo t_x .

$m_T(t_{x-1})$ = masa total contenida en el reactor en el tiempo t_{x-1} .

$m_T(t_x)$ = masa total contenida en el reactor en el tiempo t_x .

$\%s(t_x)$ = Porcentaje en sólidos de látex en el tiempo t_x .

Q_{vol} = Flujo volumétrico

t_x = tiempo x.

t_s = tiempo de semilla.

f_i = Fracción volumétrica del componente i.

ρ_i = densidad del componente i

$m_T(t_s)$ = masa total contenida en el reactor en el tiempo de semilla.

$Ci(t_{x-1})$ = Conversión instantánea en el tiempo t_{x-1} .

$Ci_s(t_s)$ = Conversión instantánea en la etapa de semilla al tiempo t_s .

m_{Tms} = Masa total de monómeros agregada en la semilla.

$m_{nv}(t_s)$ = masa polimérica no volátil que reacciono en el tiempo de semilla t_s .

$m_{nva}(t_s)$ = masa polimérica volátil total de los componentes por reaccionar en el tiempo de semilla t_s .

$\%s(t_s)$ = Porcentaje en sólidos de látex en el tiempo de semilla t_s .

A1.3 Resultados gravimétricos de los látex sintetizados.

Látex 1

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	Phm
1	60.00	30.00	10.00	2.00	CM(3)	0.40	1.50	300.00

No se logró estabilidad.

Látex 2

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
2	60.00	35.00	5.00	2.00	CM	0.80	5.00	300.00

Se generan al final de la reacción dos fases.

Tabla 4.1 Resultados de la gravimetría del látex número 2

t ^{4.1}	Wch ^{4.2}	Wch+Wh ^{4.3}	Wch+Ws ^{4.4}	Wh	Ws	% s
1.00	1.66	14.79	2.10	13.13	0.44	3.38
1.50	0.88	14.94	1.37	14.06	0.49	3.48
2.00	1.14	21.55	1.89	20.41	0.75	3.69
2.50	1.10	17.30	1.66	16.20	0.56	3.46
3.00	1.97	18.31	2.69	16.34	0.73	4.44
3.50	1.37	15.77	1.94	14.41	0.58	4.02

Látex 3

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
3	60.00	15.00	25.00	2.00	CM	0.80	6.00	300.00

Tabla 4.2 resultados de la gravimetría del látex número 3

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	% s
1.00	0.67	10.90	1.00	10.23	0.33	3.26
1.50	0.52	9.62	0.94	9.09	0.42	4.60
2.00	0.54	10.56	1.03	10.01	0.49	4.91
2.50	0.67	11.34	1.23	10.67	0.56	5.22
3.00	0.59	11.20	1.19	10.61	0.59	5.60
3.50	0.50	10.15	1.19	9.65	0.69	7.14

Látex 4

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
4	60.00	10.00	30.00	2.00	CM	0.80	6.00	300.00

No se logró estabilidad.

4.1 tiempo [hrs]

4.2 Masa de charola

4.3 Masa del látex [g]

4.4 Masa de sólidos en el látex [g]

Tabla 4.3 Resultados de la gravimetría del látex número 4

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	% s
1.00	0.65	7.10	0.83	6.45	0.18	2.85
1.50	0.80	19.45	1.39	18.65	0.58	3.12
2.00	0.78	12.53	1.12	11.75	0.33	2.84
2.50	0.67	11.88	1.03	11.21	0.36	3.23
3.00	0.54	10.55	0.84	10.01	0.30	2.98
3.50	0.80	11.98	1.16	11.18	0.35	3.16

Látex 5

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
5	60.00	35.00	5.00	2.00	CM	0.80	7.00	300.00

Tabla 4.4 Resultados de la gravimetría del látex número 5

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s
1.00	0.88	10.11	1.12	9.23	0.24	2.59
1.50	0.74	11.15	1.08	10.41	0.34	3.29
2.00	0.73	10.38	1.32	9.65	0.59	6.13
2.50	0.83	11.16	1.70	10.34	0.87	8.46
3.00	0.85	10.98	1.80	10.13	0.94	9.32
3.50	0.87	10.53	1.88	9.66	1.01	10.48
4.00	0.38	8.98	1.31	8.60	0.93	10.82

Látex 6

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
6	60.00	5.00	35.00	2.00	CM	0.80	7.00	300.00

Tabla 4.5 Resultados de la gravimetría del látex número 6

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s
1.00	0.70	11.03	1.02	10.34	0.32	3.09
1.50	0.84	10.39	1.11	9.55	0.27	2.83
2.00	0.78	11.34	1.15	10.56	0.37	3.46
2.50	0.64	8.13	0.89	7.49	0.25	3.32
3.00	0.75	7.67	0.99	6.92	0.24	3.48
3.50	0.77	10.01	1.08	9.24	0.32	3.44
4.00	0.77	6.81	0.98	6.04	0.21	3.40
4.50	0.72	8.63	1.01	7.91	0.29	3.60
5.00	0.67	8.56	0.98	7.90	0.32	4.03

Látex 7

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
7	60.00	20.00	20.00	2.00	CM	0.80	7.00	300.00

Tabla 4.6 Resultados de la gravimetría del látex número 7

T	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s	Ci
1.00	0.70	7.27	0.87	6.57	0.17	2.60	1
1.50	0.39	5.77	0.55	5.38	0.16	3.03	1
2.00	0.73	6.62	0.90	5.88	0.17	2.92	1
2.50	0.70	9.97	1.00	9.27	0.30	3.18	1
3.00	0.78	9.51	1.09	8.72	0.31	3.50	1
3.50	0.70	5.90	0.88	5.20	0.18	3.43	1
4.00	0.50	5.05	0.66	4.55	0.16	3.43	1
4.50	0.47	5.54	0.67	5.07	0.20	3.96	1
5.00	0.43	4.86	0.64	4.43	0.21	4.65	1

Látex 8

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
8	60.00	30.00	10.00	0.0		0.80	7.00	300.00

Tabla 4.7 Resultados de la gravimetría del látex número 8

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s	Ci
1.00	0.68	9.90	1.18	9.21	0.49	5.35	1
2.00	0.56	8.50	1.33	7.94	0.76	9.61	1
2.50	0.71	9.13	1.71	8.42	0.99	11.79	1
3.00	0.77	8.42	1.83	7.65	1.06	13.84	1
3.50	0.92	10.32	2.39	9.41	1.48	15.69	1
4.00	0.89	8.76	2.25	7.87	1.36	17.23	1
4.50	0.96	10.44	2.88	9.48	1.93	20.33	1
5.00	0.96	10.01	3.26	9.05	2.31	25.49	1

Látex 9

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	Phm
9	60.00	25.00	15.00	0.0		0.80	7.00	300.00

Tabla 4.8 Resultados de la gravimetría del látex número 9

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s	Ci
1.00	1.24	5.92	1.55	4.68	0.31	6.71	1
1.50	0.93	5.33	1.29	4.39	0.36	8.22	1
2.00	1.22	6.55	1.77	5.33	0.55	10.35	1
2.50	1.04	6.47	1.69	5.43	0.64	11.87	1
3.00	1.02	7.07	1.83	6.05	0.81	13.33	1
3.50	1.01	8.12	2.08	7.11	1.07	15.01	1
4.00	1.13	9.88	2.65	8.75	1.52	17.38	1
4.50	1.48	9.85	4.04	8.36	2.56	25.00	1
5.00	1.09	8.47	3.20	7.38	2.10	25.00	1

El látex presentó coagulados a los 3 días

Látex 10

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	Phm
10	60.00	20.00	20.00	0.0		0.80	7.00	300.00

Tabla 4.9 Resultados de la gravimetría del látex número 10

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s	Ci
1.00	1.08	5.63	1.40	4.55	0.32	7.06	1
1.50	0.86	5.14	1.22	4.28	0.36	8.48	1
2.00	1.05	6.17	1.61	5.12	0.55	10.79	1
2.50	0.94	6.09	1.61	5.15	0.67	12.95	1
3.00	1.28	5.51	1.91	4.22	0.62	14.71	1
3.50	0.91	5.97	1.73	5.06	0.82	16.29	1
4.00	0.96	5.36	1.96	4.40	1.00	22.77	1
4.50	0.99	6.09	2.25	5.11	1.27	24.79	1
5.00	0.99	5.24	2.05	4.24	1.06	24.91	1

Látex 11

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	Phm
11	60.00	15.00	25.00	0.0		0.80	7.00	300.00

Tabla 4.10 Resultados de la gravimetría del látex número 11

T	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s	Ci
1.00	1.19	4.70	1.39	3.51	0.21	5.84	1
1.50	1.16	5.85	1.49	4.70	0.34	7.13	1
2.00	1.25	6.14	1.72	4.90	0.47	9.58	1
2.50	0.93	5.21	1.41	4.28	0.48	11.17	1
3.50	0.93	4.94	1.54	4.01	0.61	15.23	1
4.00	0.58	5.85	1.77	5.27	1.19	22.53	1
4.50	0.81	6.07	2.07	5.26	1.26	23.95	1
5.00	0.96	6.25	2.22	5.30	1.26	23.80	1

Látex 12

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
12	60.00	10.00	30.00	0.0		0.80	7.00	300.00

Tabla 4.11 Resultados de la gravimetría del látex número 12

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s	Ci
1.00	1.13	6.39	1.50	5.26	0.36	6.90	1
1.50	1.51	6.55	1.95	5.04	0.44	8.63	1
2.00	1.02	5.78	1.52	4.76	0.50	10.41	1
2.50	0.73	5.57	1.32	4.84	0.59	12.21	1
3.00	0.95	6.28	1.69	5.33	0.74	13.88	1
3.50	0.85	6.07	1.60	5.22	0.75	14.43	1
4.00	0.77	5.89	1.61	5.12	0.84	16.45	1
4.50	1.03	5.81	2.22	4.78	1.19	24.98	1
5.00	1.05	6.29	2.37	5.25	1.33	25.29	1

Látex 13

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
13	60.00	30.00	10.00	2.00	Shot	0.80	7.00	300.00

Tabla 4.12 Resultados de la gravimetría del látex número 13

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s
1.00	0.95	5.47	1.22	4.52	0.27	6.04
1.50	0.93	6.06	1.31	5.13	0.38	7.41
3.00	0.85	6.08	1.65	5.23	0.80	15.27
3.50	0.79	5.89	1.67	5.11	0.88	17.28
4.00	0.90	5.58	1.71	4.68	0.81	17.41
4.50	0.95	5.86	1.83	4.91	0.88	17.85
5.00	0.91	6.19	1.89	5.28	0.98	18.63

Látex 14

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
14	60.00	25.00	15.00	2.00	Shot	0.80	7.00	300.00

Tabla 4.13 Resultados de la gravimetría del látex número 14

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s
1.00	0.86	6.09	1.24	5.23	0.38	7.20
1.50	1.00	6.03	1.35	5.03	0.35	6.99
2.00	1.23	5.77	1.58	4.54	0.34	7.56
2.50	1.09	5.19	1.48	4.11	0.39	9.55
3.00	0.79	3.39	1.07	2.60	0.28	10.81
3.50	0.93	4.28	1.36	3.35	0.43	12.74
4.00	0.79	5.15	1.36	4.36	0.56	12.92
4.50	1.22	5.16	1.71	3.94	0.48	12.26
5.00	0.71	4.54	1.19	3.83	0.48	12.48

Látex 15

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
15	60.00	20.00	20.00	2.00	Shot	0.80	7.00	300.00

Tabla 4.14 Resultados de la gravimetría del látex número 15

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s
1.00	0.62	3.98	0.76	3.36	0.14	4.25
1.50	0.47	2.86	0.62	2.39	0.15	6.40
2.00	0.45	4.78	0.83	4.33	0.37	8.61
2.50	0.36	4.90	0.84	4.54	0.48	10.50
3.00	0.34	5.06	0.90	4.72	0.57	12.03
3.50	0.41	4.79	1.03	4.37	0.62	14.06
4.00	0.45	5.01	1.06	4.56	0.61	13.43
4.50	0.43	5.18	1.11	4.75	0.68	14.38
5.00	0.39	5.15	1.10	4.76	0.71	14.94

Látex 16

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
16	60.00	15.00	25.00	2.00	Shot	0.80	7.00	300.00

Tabla 4.15 Resultados de la gravimetría del látex número 16

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s
1.00	0.54	5.97	1.05	5.43	0.51	9.34
1.50	0.37	5.67	1.00	5.30	0.63	11.79
2.00	0.47	6.62	1.19	6.15	0.72	11.76
2.50	0.41	5.53	1.07	5.12	0.66	12.85
3.00	0.48	5.93	0.71	5.45	0.77	14.14
3.50	0.47	6.53	1.13	6.06	0.84	13.85
4.00	0.43	5.80	0.77	5.37	0.68	12.66
4.50	0.51	6.02	0.93	5.52	0.71	12.86
5.00	0.40	5.86	1.15	5.46	0.75	13.71

Látex 17

L	VA	BA	MMA	AMA	D	I	E	A
#	phm	phm	phm	phm		phm	phm	phm
17	60.00	10.00	30.00	2.00	Shot	0.80	7.00	300.00

Tabla 4.16 Resultados de la gravimetría del látex número 17

t	Wch	Wch+Wh	Wch+Ws	Wh	Ws	%s
1.00	1.27	8.97	1.49	7.70	0.22	2.84
1.50	1.08	6.33	1.36	5.25	0.28	5.33
2.00	0.93	6.22	1.34	5.29	0.40	7.62
2.50	1.16	5.57	1.66	4.41	0.51	11.46
3.00	0.99	5.99	1.49	5.00	0.60	12.00
3.50	1.00	5.99	1.50	4.99	0.65	13.03
4.00	1.16	6.68	1.70	5.52	0.64	11.59
4.50	1.20	6.56	1.76	5.36	0.65	12.13
5.00	1.05	6.40	1.64	5.35	0.66	12.35

A1.4 Cálculo del HLB promedio del emulsificante

Cálculo del HLB del alcohol dodecílico con 17,5 moles de óxido de etileno

$$PM_E = 921.96$$

$$PM_{hb} = 169.12 \text{ g/mol}$$

$$PM_{hi} = 752.64 \text{ g/mol}$$

$$HLB = \frac{752.64 \times 20}{921.96} = 16.33$$

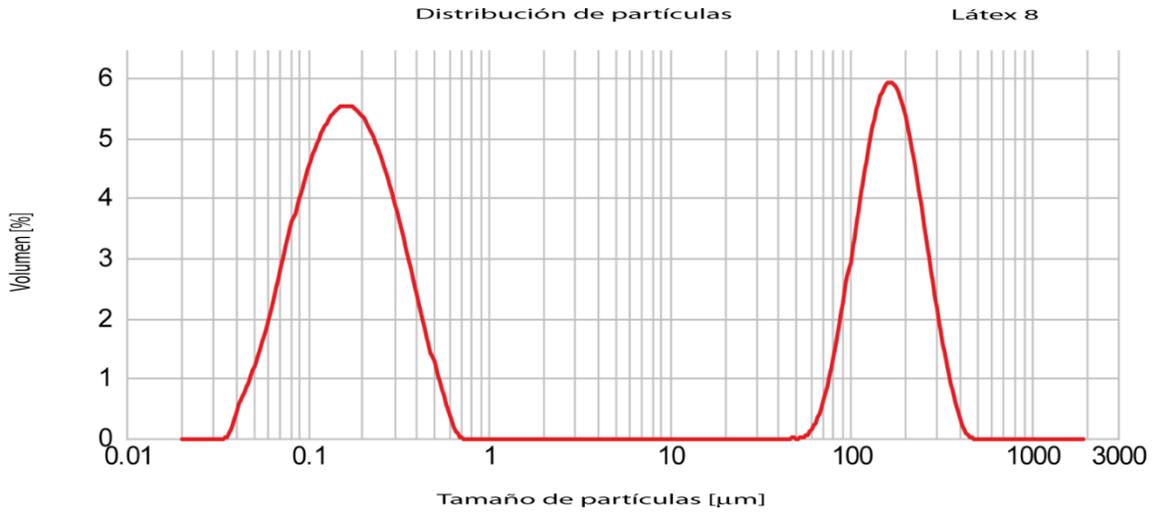
Donde

PM_E = peso molecular del emulsificante

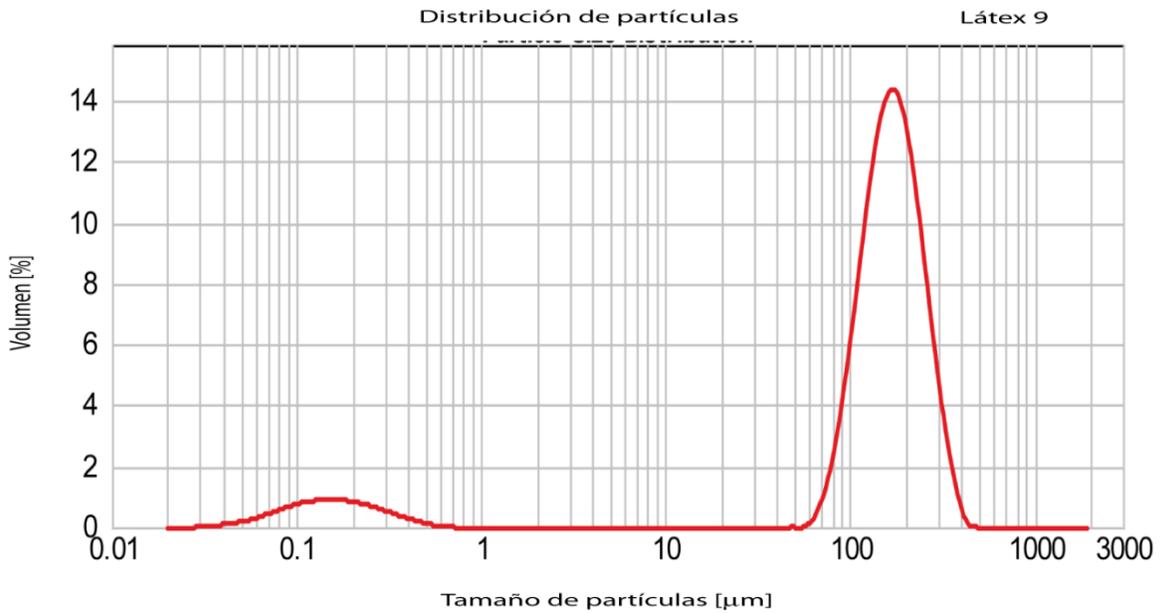
PM_{hb} = peso molecular de la parte hidrofóbica

PM_{hi} = peso molecular de la parte hidrofílica

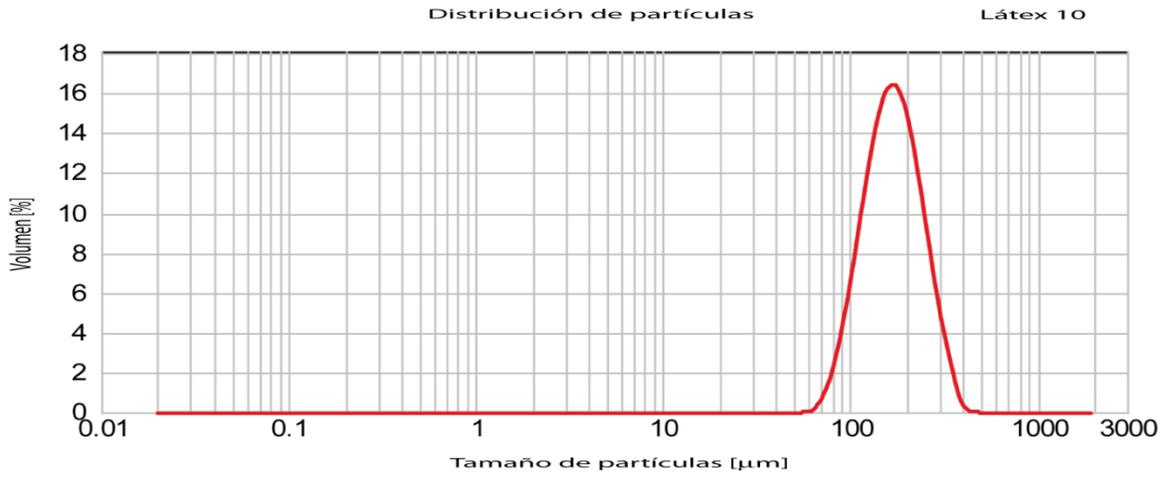
A2 Gráficas obtenidas con dispersor de luz Mastersizer modelo 2000 de los látex medidos a un índice de refracción de 1.395.



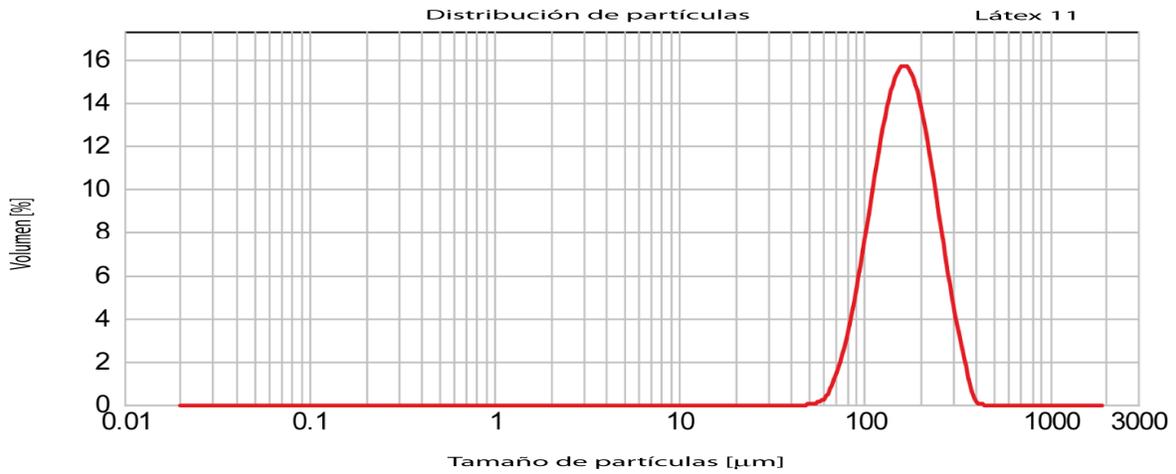
Gráfica A1 Distribución de tamaños de partículas del látex 8



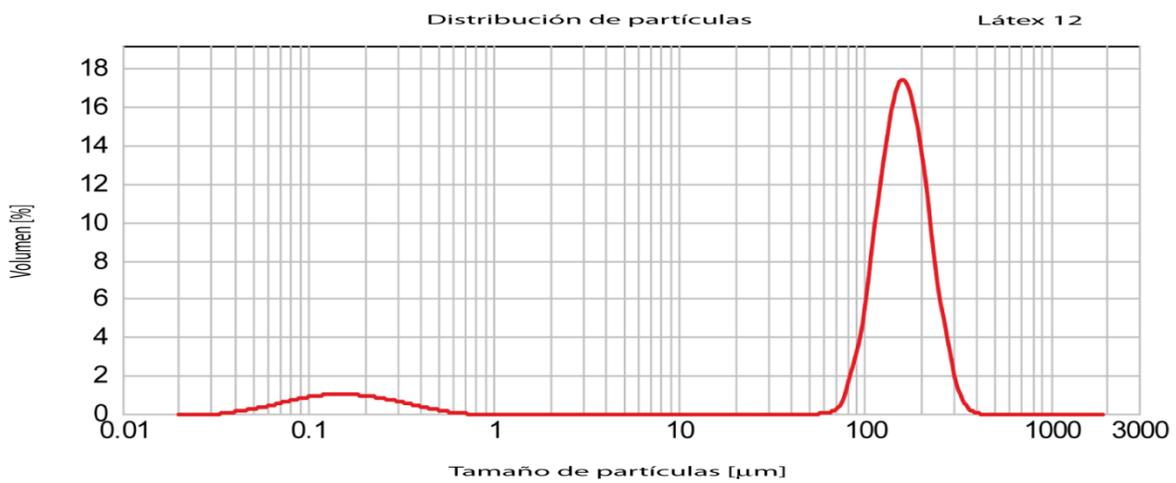
Gráfica A2 Distribución de tamaños de partículas del látex 9



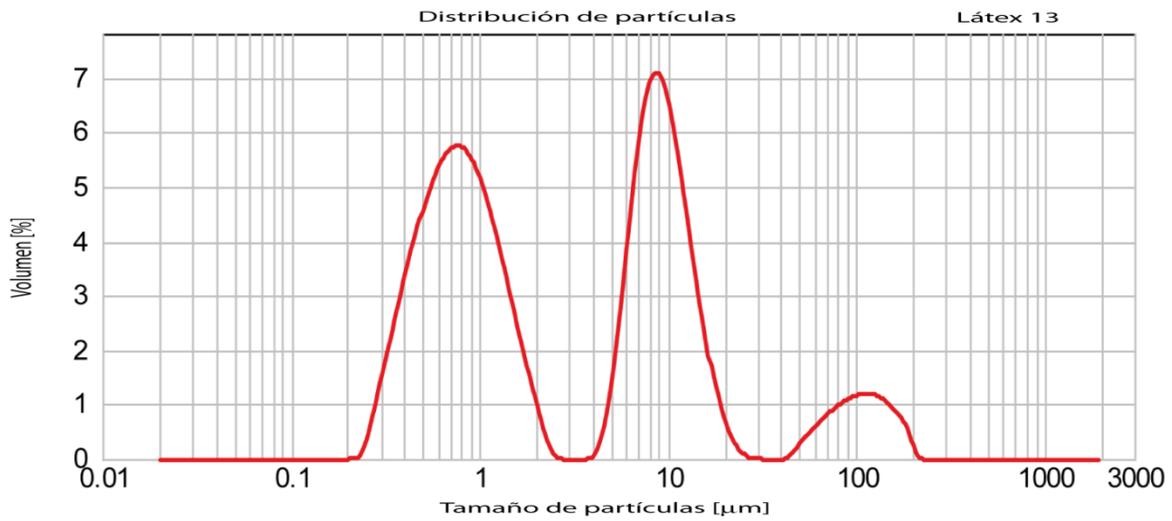
Gráfica A3 Distribución de tamaños de partículas del látex 10



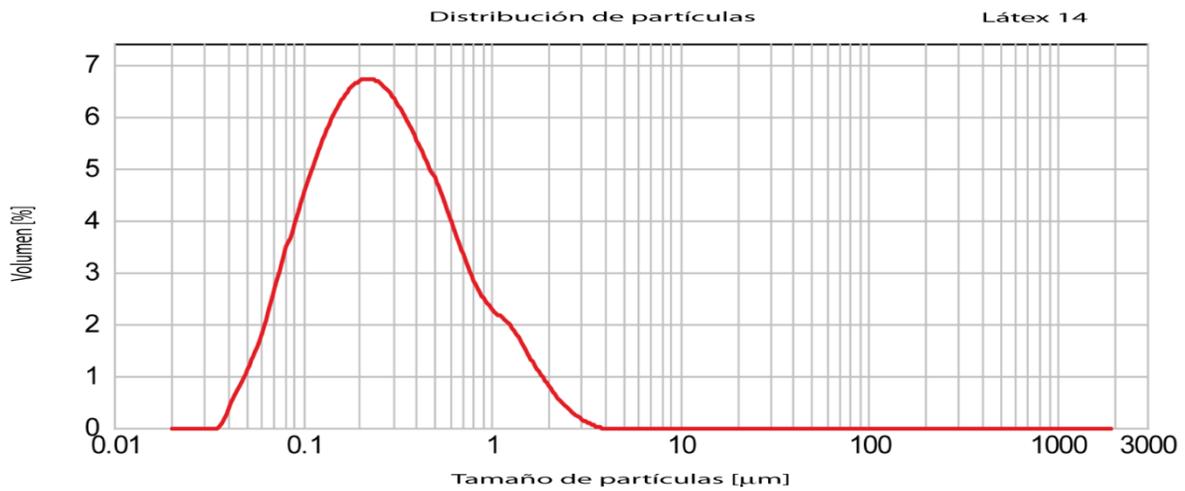
Gráfica A4 Distribución de tamaños de partículas del látex 11



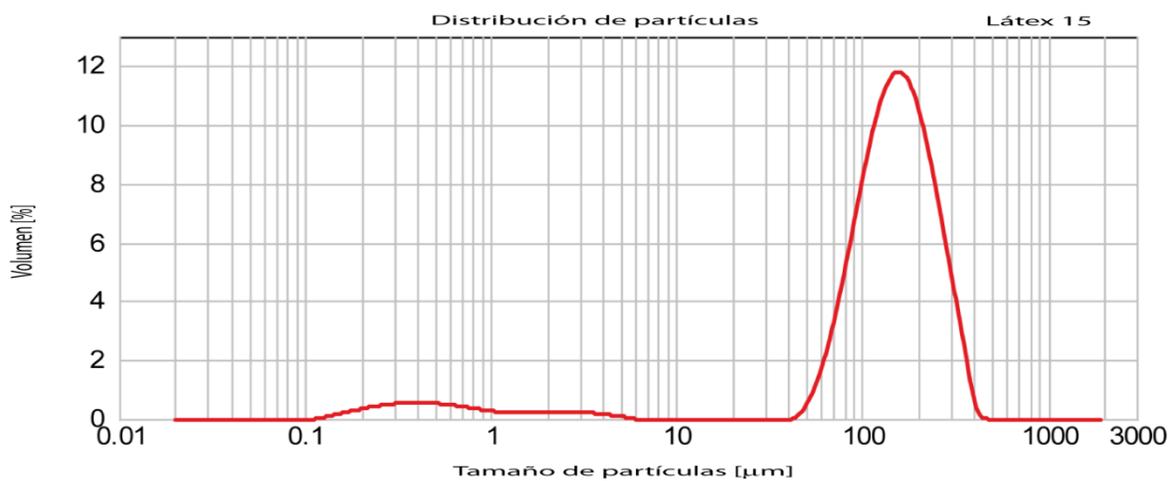
Gráfica A5 Distribución de tamaños de partículas del látex 12



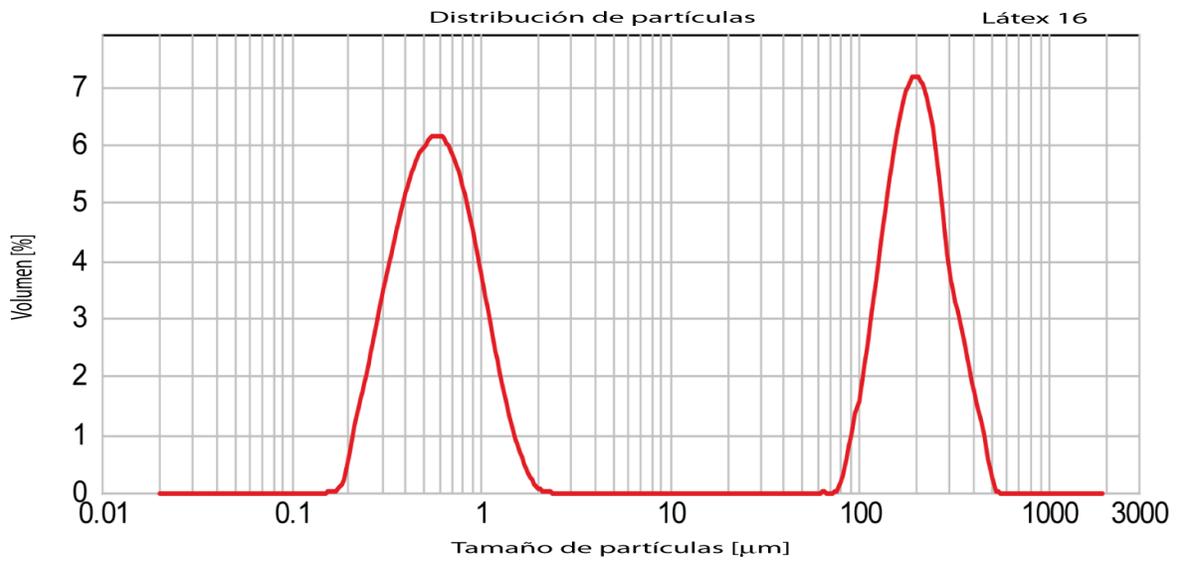
Gráfica A6 Distribución de tamaños de partículas del látex 13



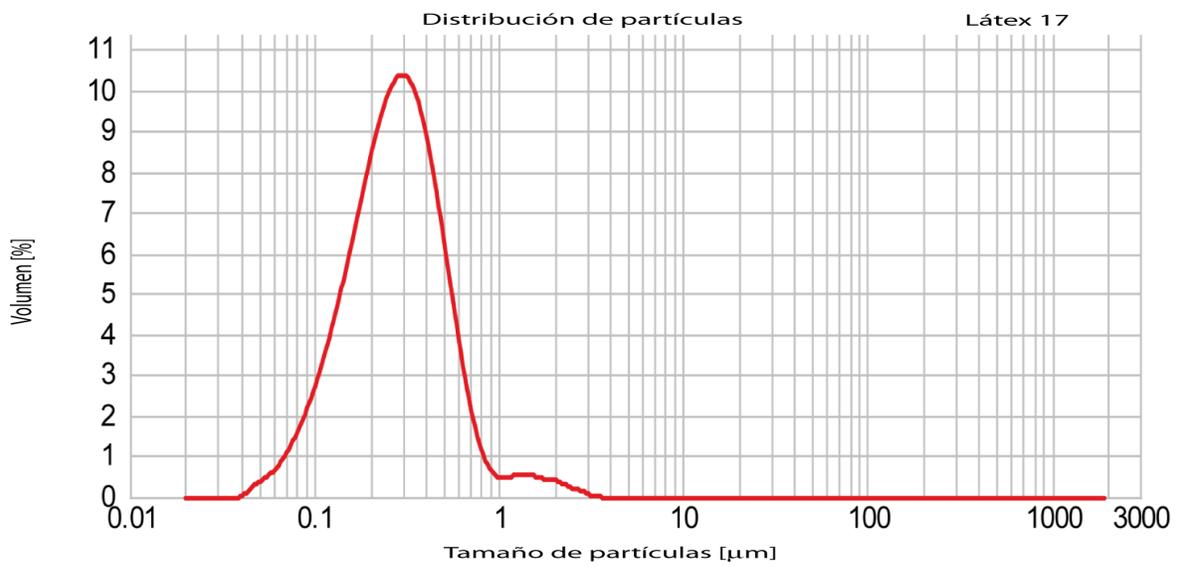
Gráfica A7 Distribución de tamaños de partículas del látex 14



Gráfica A8 Distribución de tamaños de partículas del látex 15



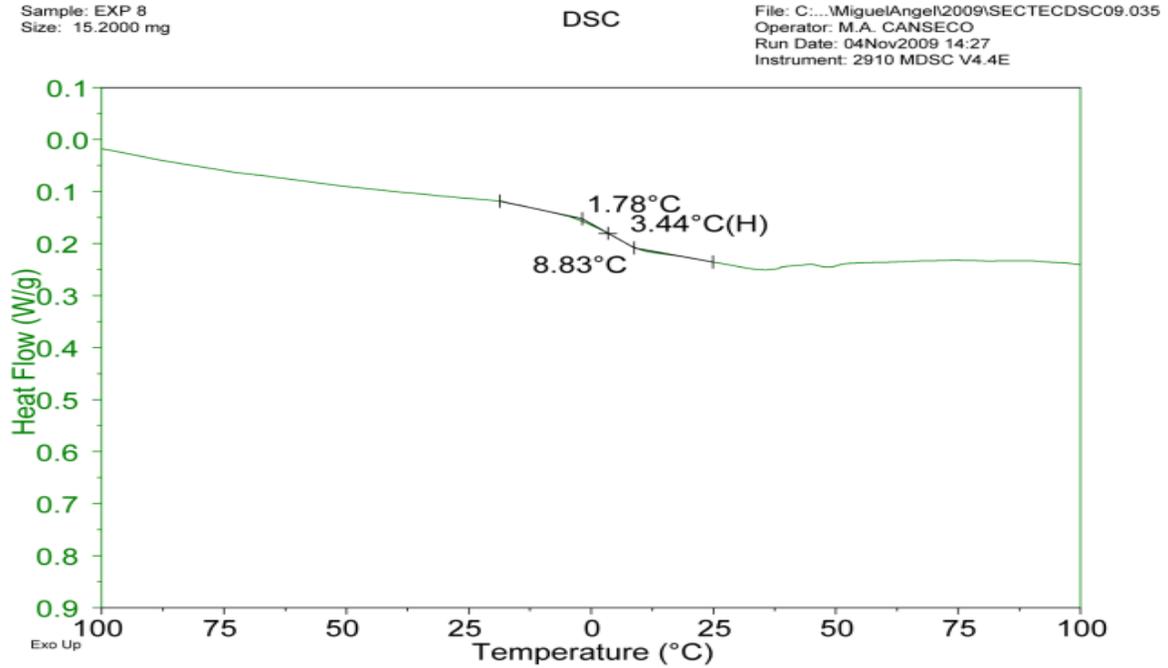
Gráfica A9 Distribución de tamaños de partículas del látex 16



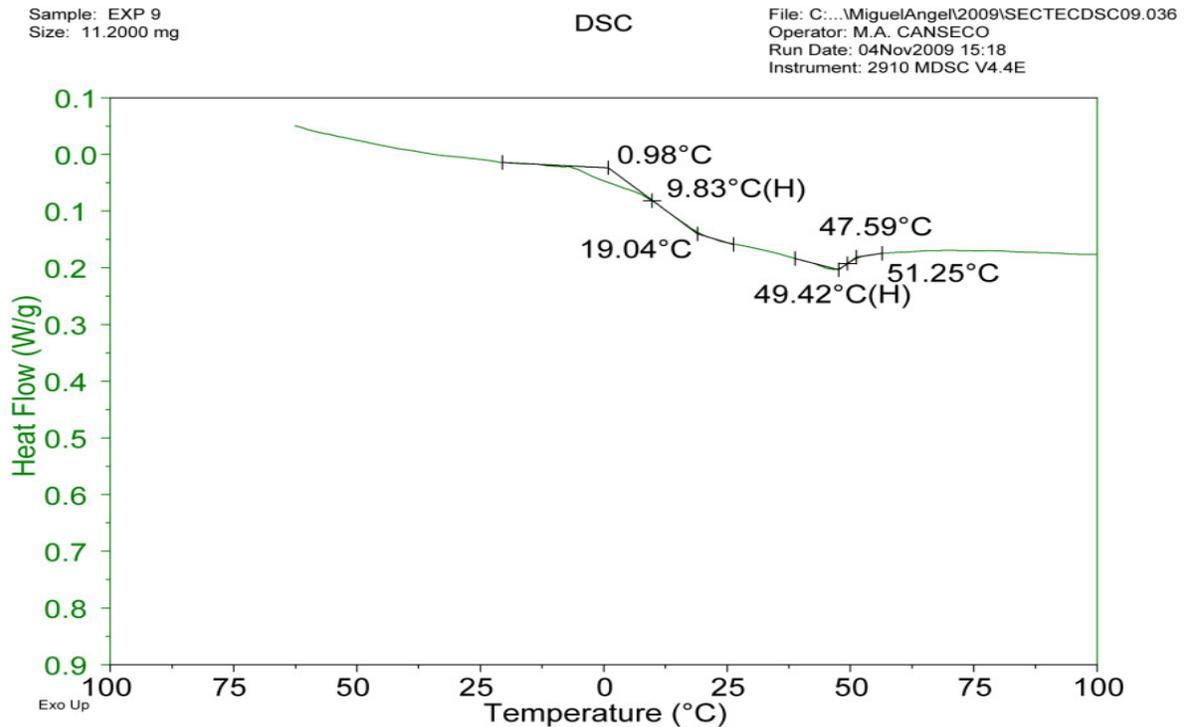
Gráfica A10 Distribución de tamaños de partículas del látex 17

A3 Gráficas obtenidas con DSC-2910 TA-instrument, empleando una velocidad de calentamiento de 10° C/min desde -100 a 100 °C.

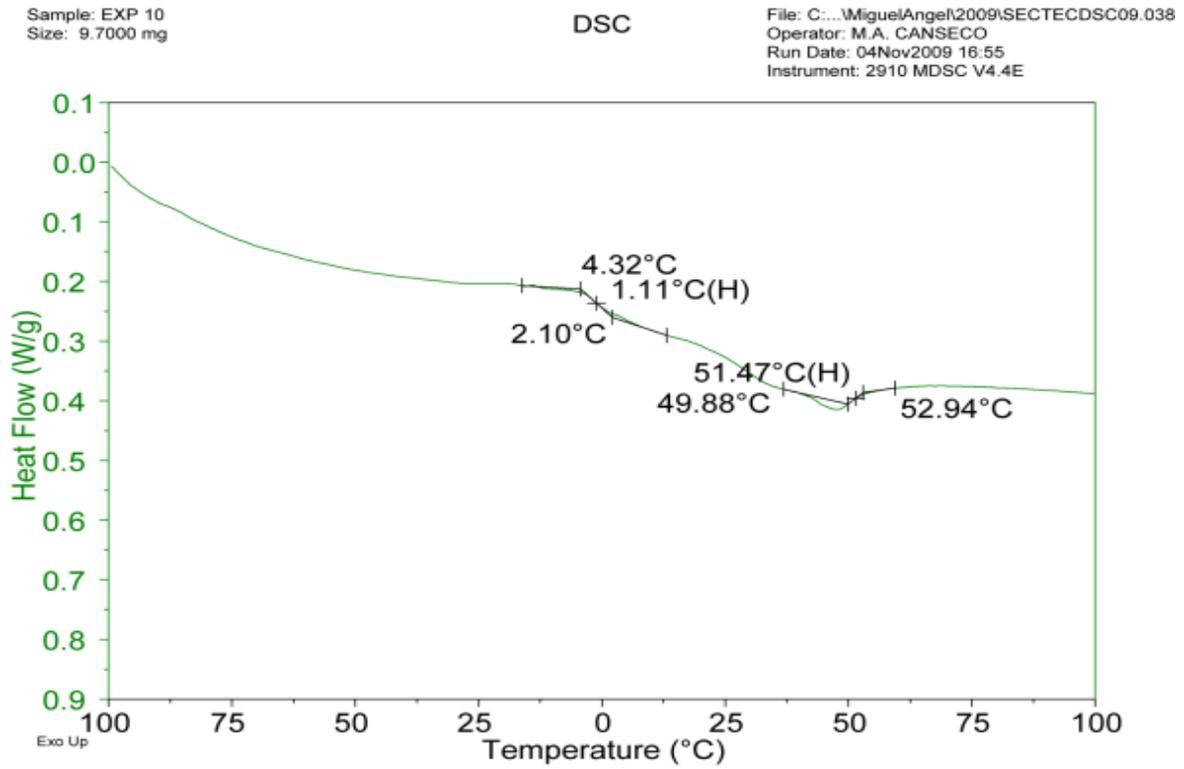
Gráfica A11 Temperatura de transición vítrea del experimento 8



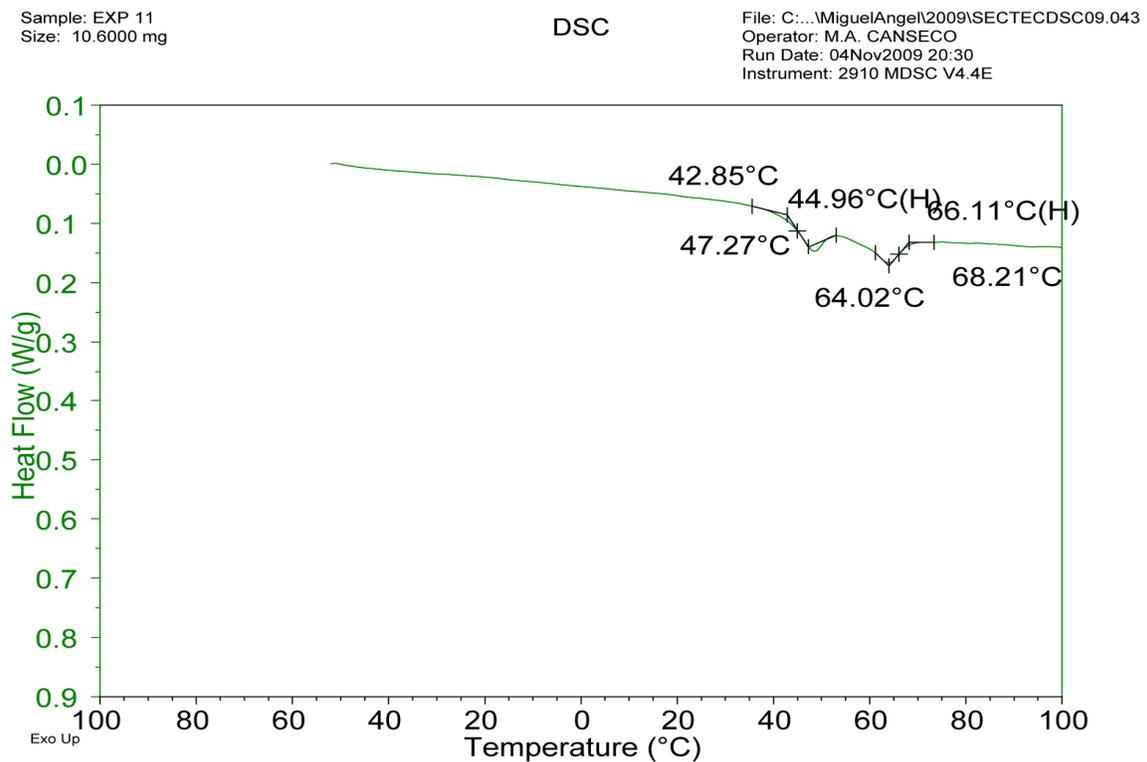
Gráfica A12 Temperatura de transición vítrea del experimento 9



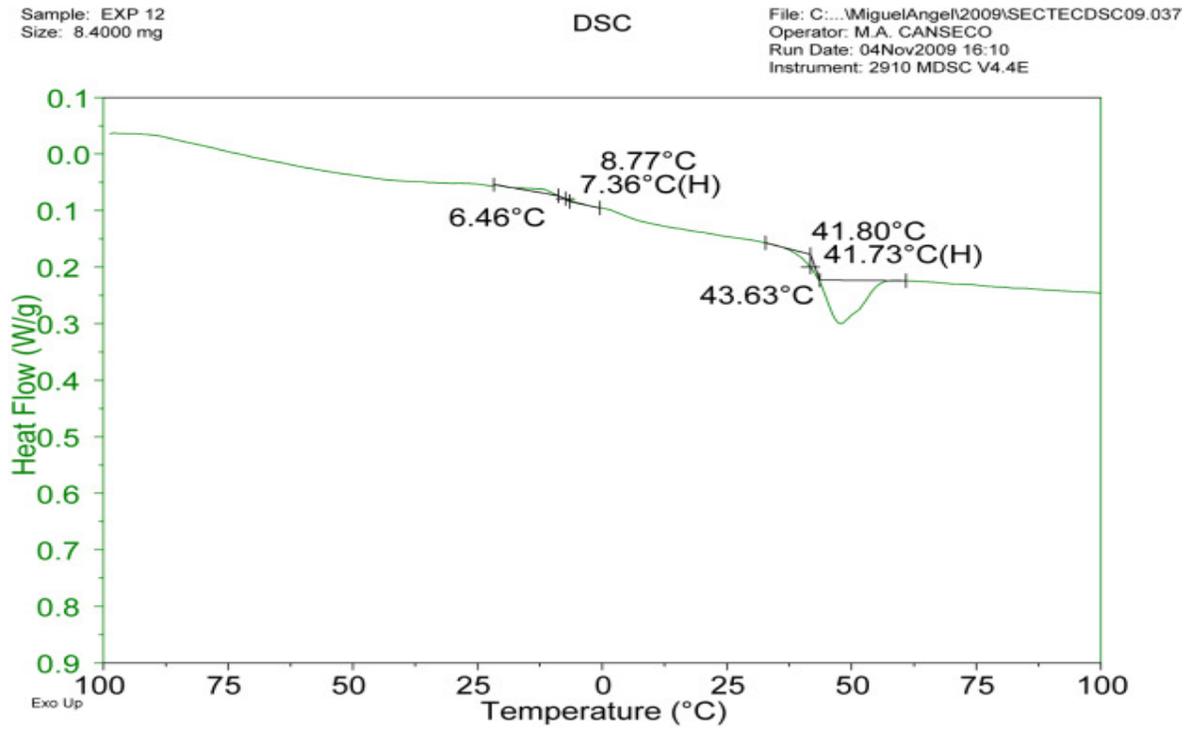
Gráfica A13 Temperatura de transición vítrea del experimento 10



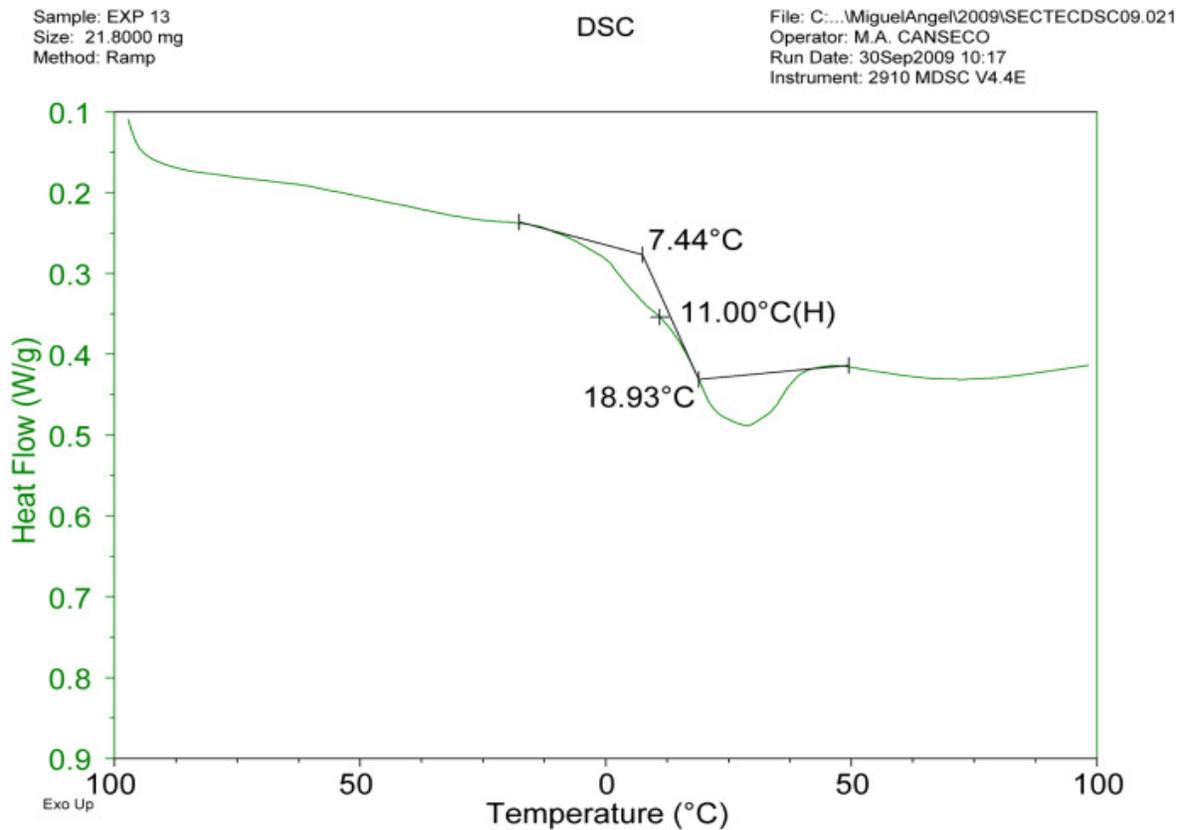
Gráfica A14 Temperatura de transición vítrea del experimento 11



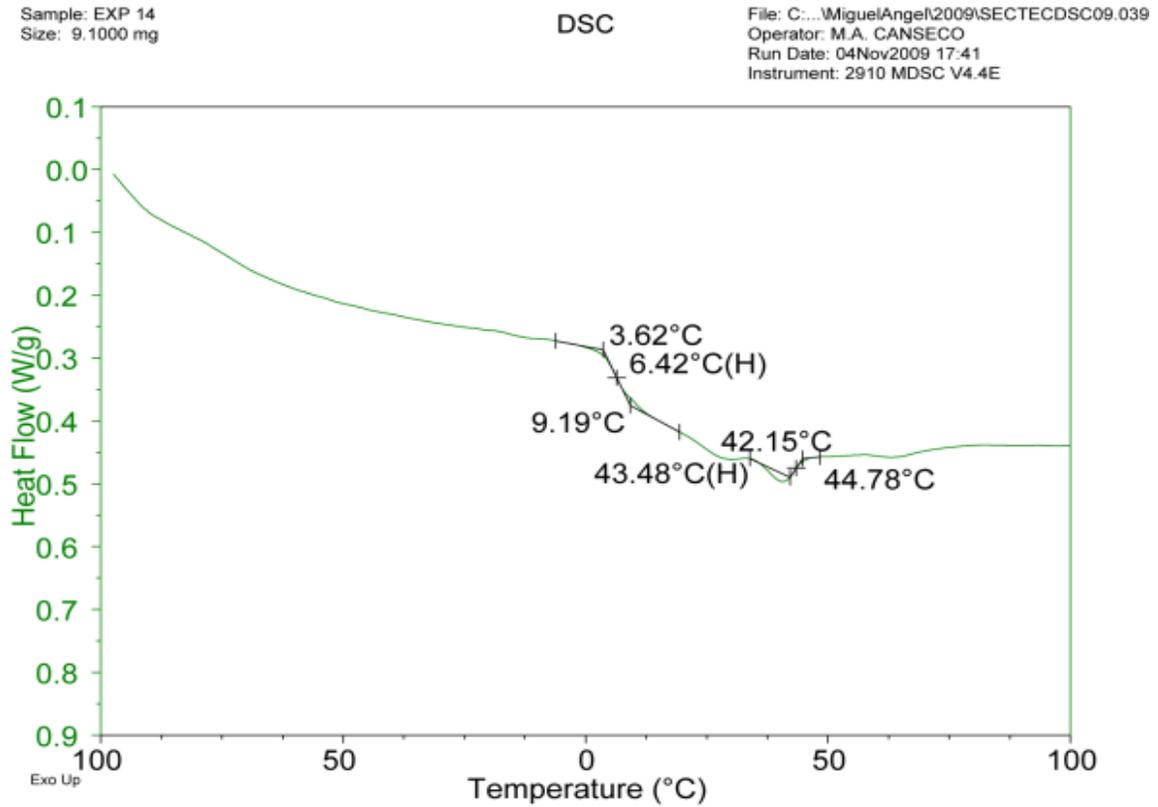
Gráfica A15 Temperatura de transición vítrea del experimento 12



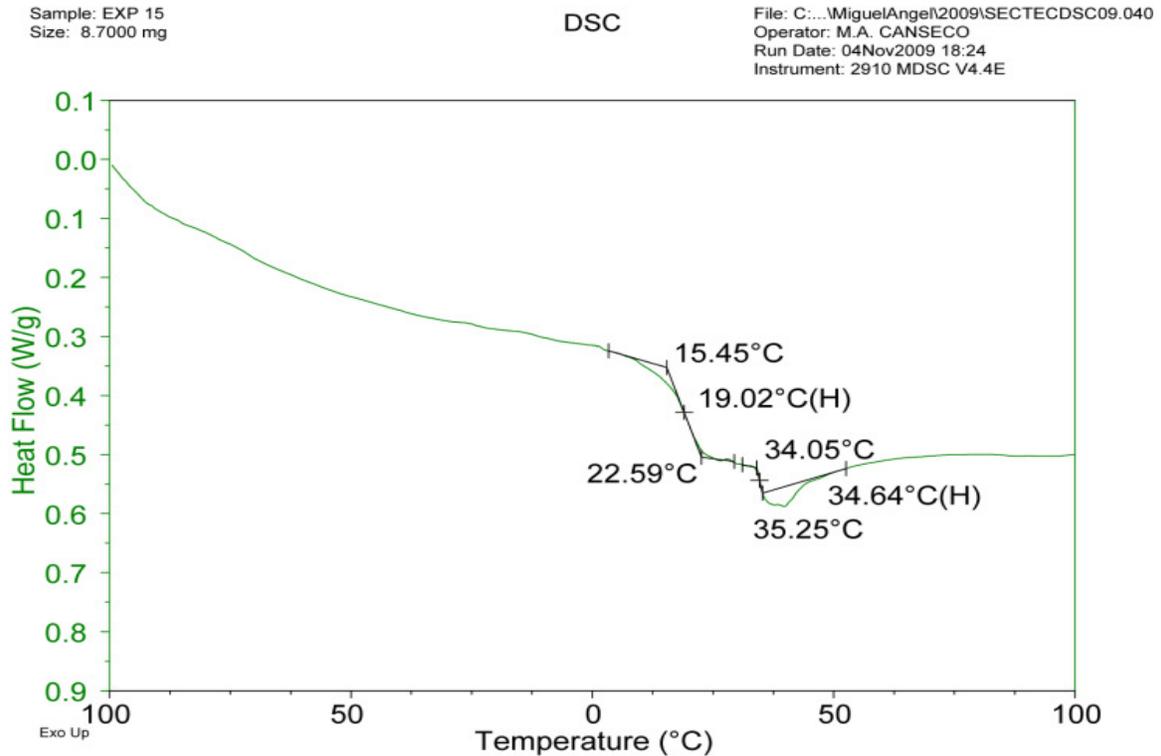
Gráfica A16 Temperatura de transición vítrea del experimento 13



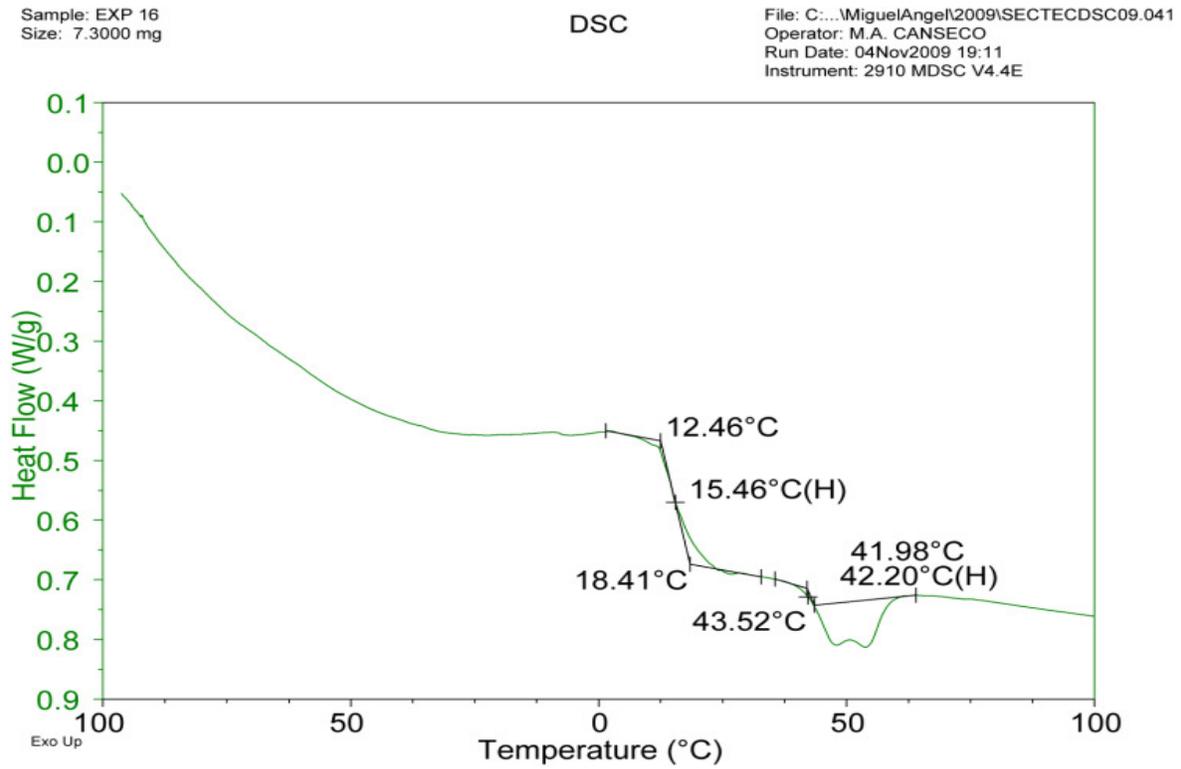
Gráfica A17 Temperatura de transición vítrea del experimento 14



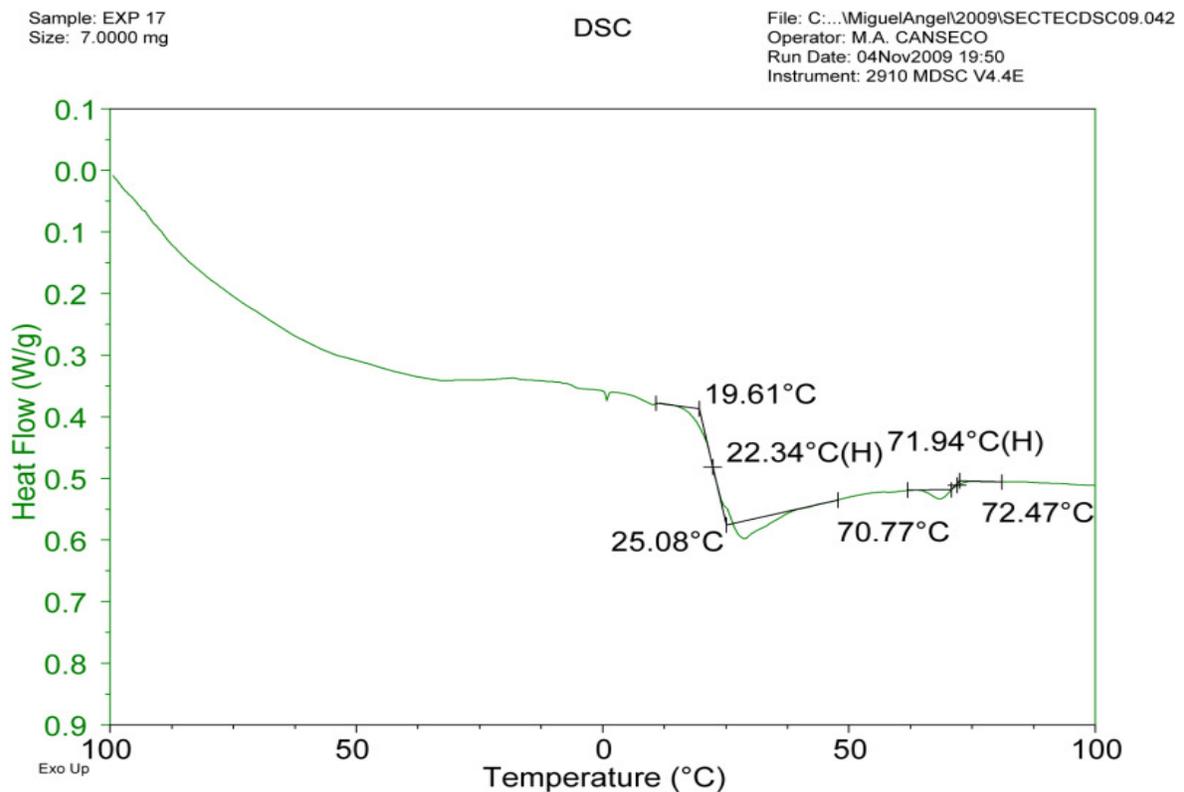
Gráfica A18 Temperatura de transición vítrea del experimento 15



Gráfica A19 Temperatura de transición vítrea del experimento 16

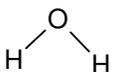
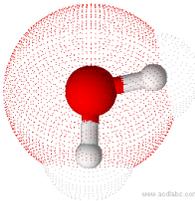


Gráfica A20 Temperatura de transición vítrea del experimento 17



A4 Fichas técnicas

W	Disolvente	NFPA 704
	Agua	
FORMULA EMPÍRICA	Nombre sistemático IUPAC	Monóxido de dihidrógeno
H₂O		

ESTRUCTURA MOLECULAR	
REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL	REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL
FÓRMULA SEMIDESARROLLADA	ESTRUCTURA DE NODOS CON NUBE DE ELECTRONE*
	

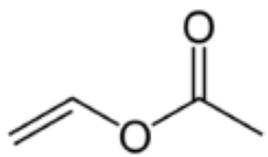
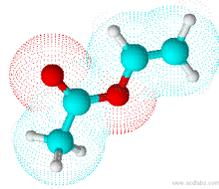
Propiedad	Magnitud
Peso Molecular [g/mol]	18.02
Densidad [g/mL] (a 20 °C)	1.00
Viscosidad [cp] (a 20 °C)	1.00
Presión de vapor [mm de Hg] (a 20 °C)	
Temperatura de ebullición [K]	293.15
Índice de refracción (a 20 °C)	1.330
Tensión superficial [D/cm] (a 20 °C)	72.20
Apariencia (a 20 °C)	Líquido transparente

PARÁMETROS DE AFINIDAD (teóricos) ⁵		
Parametro de solubilidad de hildebrand [MPa ^{1/2}]	f_d	42.9
δ	21.11	f_p
		f_h
		32.9
		24.1

*Estructura formada con el programa gratuito Chemskech (www.acdlabs.com)

⁵Cálculos hechos por métodos estimativos de contribución de grupos.

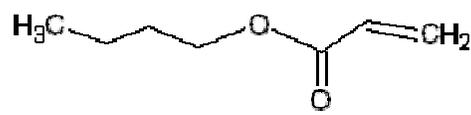
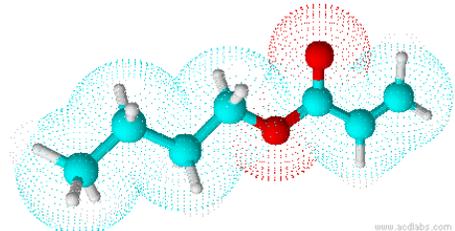
VA	Monómero	NFPA 704
	Acetato de Vinilo	
FORMULA EMPÍRICA		
C₄H₆O₂		

ESTRUCTURA MOLECULAR	
REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL	REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL
FÓRMULA SEMIDESARROLLADA	ESTRUCTURA DE NODOS CON NUBE DE ELECTRONES ¹
	

Propiedad	Magnitud
Peso Molecular [g/mol]	86.09
Densidad [g/mL] (a 20 °C)	0.934
Viscosidad [cp] (a 20 °C)	0.43
Presión de vapor [mm de Hg] (a 20 °C)	487.5
Temperatura de ebullición [K]	345.9
Índice de refracción (a 20 °C)	1.3953
Solubilidad en agua [g/100mL] (a 20 °C)	2.3
Tensión superficial [D/cm] (a 20 °C)	23.60
Temperatura de autoignición [K]	700.15
Apariencia (a 20 °C)	Líquido transparente

PARÁMETROS DE AFINIDAD (teóricos)			
Parametro de solubilidad de hildebrand [MPa ^{1/2}]		f_d	42.9
δ	21.11	f_p	32.9
		f_h	24.1

<h1>BA</h1>	Monómero	NFPA 704
	Acrilato de butilo	
FORMULA EMPÍRICA		
C₇H₁₂O₂		

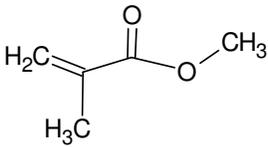
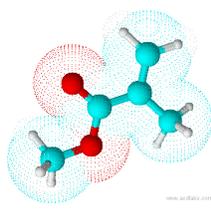
ESTRUCTURA MOLECULAR	
REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL	REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL
FÓRMULA SEMIDESARROLLADA	ESTRUCTURA DE NODOS CON NUBE DE ELECTRONES ¹
	

Propiedad	Magnitud
Peso Molecular [g/mol]	128.17
Densidad [g/mL] (a 20 °C)	0.90
Viscosidad [cp] (a 20 °C)	0.92
Presión de vapor [mm de Hg] (a 20 °C)	
Temperatura de ebullición [K]	421.15
Índice de refracción (a 20 °C)	1.4185
Solubilidad en agua [g/100mL] (a 20 °C)	0.14
Tensión superficial [D/cm] (a 20 °C) (teórico)	26.7
Apariencia (a 20 °C)	Líquido transparente

PARÁMETROS DE AFINIDAD			
Parametro de solubilidad de hildebrand [MPa ^{1/2}]		f_d	51.8
δ	18.6	f_p	25.2
		f_h	23.0

MMA	Monómero	NFPA 704
	Metacrilato de metilo	

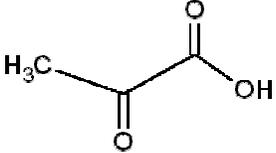
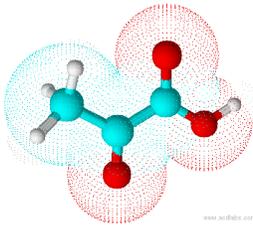
FORMULA EMPÍRICA		
C₅H₈O₂		

ESTRUCTURA MOLECULAR	
REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL	REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL
FÓRMULA SEMIDESARROLLADA	ESTRUCTURA DE NODOS CON NUBE DE ELECTRONES ¹
	

Propiedad	Magnitud
Peso Molecular [g/mol]	100.11
Densidad [g/mL] (a 20 °C)	0.94
Viscosidad [cp] (a 20 °C)	0.60
Temperatura de ebullición [K]	374.00
Índice de refracción (a 20 °C) (teórico)	1.4
Solubilidad en agua [g/100mL] (a 20 °C)	1.5
Tensión superficial [D/cm] (a 20 °C)	23.5
Temperatura de autoignición [K]	708.15
Apariencia (a 20 °C)	Líquido transparente

PARÁMETROS DE AFINIDAD			
Parametro de solubilidad de hildebrand [MPa ^{1/2}]		f_d	46.8
δ	20.5	f_p	29.8
		f_h	23.4

<h1>AMA</h1>	Carboxilante	NFPA 704
	Ácido metacrílico	
FORMULA EMPÍRICA		
C₃H₄O₃		

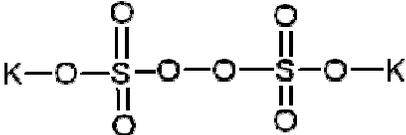
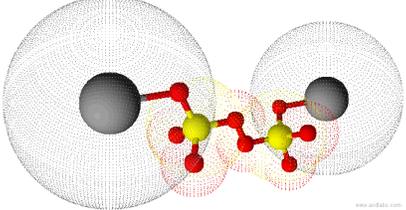
ESTRUCTURA MOLECULAR	
REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL	REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL
FÓRMULA SEMIDESARROLLADA	ESTRUCTURA DE NODOS CON NUBE DE ELECTRONES ¹
	

Propiedad	Magnitud
Peso Molecular [g/mol]	88.06
Densidad [g/mL] (a 20 °C)	1.02
Temperatura de ebullición [K]	434.15
Solubilidad en agua [g/100mL] (a 20 °C)	miscible
Tensión superficial [D/cm] (a 20 °C)	
Apariencia (a 20 °C)	Solido cristalino blanco

PARÁMETROS DE AFINIDAD			
Parametro de solubilidad de hildebrand [MPa ^{1/2}]		f_d	13.9
δ	27.2	f_p	16.5
		f_h	29.6

<h1>KPS</h1>	Iniciador	NFPA 704
	Persulfato de potasio	

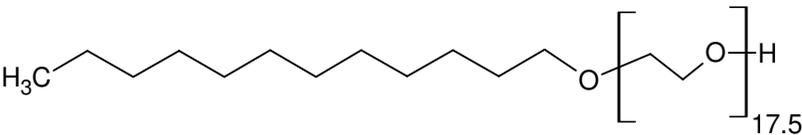
FORMULA EMPÍRICA		
<h2>K₂S₂O₈</h2>		

ESTRUCTURA MOLECULAR	
REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL	REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL
FÓRMULA SEMIDESARROLLADA	ESTRUCTURA DE NODOS CON NUBE DE ELECTRONES ¹
	

Propiedad	Magnitud (a 20°C)
Peso Molecular [g/mol]	270.34
Apariencia	Sólido blanco
Tiempo de vida media	10 hrs
Solubilidad en agua	50 g/lts

S-EL17.5	Emulsificante	NFPA 704
	Dodecil etoxilado con 17.5 moles de óxido de etieno	

FORMULA EMPÍRICA	Nombre Comercial	Surfactol EL 17.5 (Polaquimia)
C₁₂H₂₅O[C₂H₄O]_{17.5}H		

ESTRUCTURA MOLECULAR	
REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL	REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL
FÓRMULA SEMIDESARROLLADA	ESTRUCTURA DE NODOS CON NUBE DE ELECTRONES ¹
	

Propiedad	Magnitud
Peso Molecular [g/mol]	957.24
Índice de refracción	1.4530
Solubilidad en agua	Totalmente soluble
Concentración micelar crítica a 25 °C	4.8X10 ⁻⁵
HLB promedio	16.33
Apariencia a 25 °C	Sólido ceroso
No. De lote	02/2007
Punto de ebullición [°C]	170-230
Dosis letal media [mg/kg]	8600

BIBLIOGRAFÍA

1. Adamson, "Physical Chemistry of Surfaces" New York, México: Mc Graw Hill 1990.
2. A. LOVELL , Peter. "Emulsion polymerization and emulsion polymers", Mohamed S. El-Aasser . [New York : J. Wiley, c1997.](#)
3. Araujo, Odair (1997). "Copolimerizacao eterpolimerizacao em emulsao: trabalho experimental e estudo de aspectos relacionados a modelagem matematica do proceso". Tesis de doctorado inédita, Escola Politécnica da Universidade, Sao Paulo.
4. "ASTM standards and soil compaction" Philadelphia, ASTM 1993.
5. Barton, Allan (1991) "CRC Handbook of Solubility Parameters and Other Cohesion Parameters" Second Edition.
6. BASSETT, David R, Mamiiec, Alvin E. " Emulsion polymers and emulsion polymerization" Washington .D.C: American Chemical Society, 198.
7. BD/Social mx el portal de las encuestas sociales de México 2001., "Estudio Nacional sobre Salud y Envejecimiento en México" (ENASEM) [Artículo]. Consultado el día 23 de noviembre del 2009.
8. Brandrup, J., Immergut, E.H., "Polymer Handbook", segunda edición, Wiley Interscience, New York 1989".
9. Braja M. Das, (1999). "Fundamentos de ingeniería geotécnica" editorial Thomson Learning.

Bibliografía

10. Charles E. Carraher Jr. 2002. "Introducción a la química de polímeros" editorial Reverte S.A.
11. Chernovetzky, (2002). "Memorias del simposio realizado en julio del 2002: Geosintéticos, geotextiles y geomembranas Mexico".
12. "Curso básico de plásticos CBIP": Leccion 5. Consultado el día 23 de noviembre de 2009. <http://www.jorplast.com.br/cbipep/cbip5ep.html>
13. Elisseva, Valentina Ivanovna. "Emulsion polymerization and its applications in industry". Teague, Sylvia J., tr. [New york : Consultante bureau, c1981](#).
14. El-Aasser, Mohamed S., Vanderhoff, John A, c1981 "Emulsion polymerization of vinyl acetate", .London : Applied science .
15. Encyclopedia of polymer science and engineering vol. 11 1964 "Peroxy compounds to polyesters" segunda edición editorial Wiley-interscience publication.
16. Encyclopedia of polymer science and engineering vol. 6 1964 "Emulsion polymerization manufacture" segunda edición editorial Wiley-interscience publication.
17. Geankoplis, Christie (1999) "Procesos de transporte y operaciones unitarias" tercera edición CECSA.
18. "Geosynthetics for soil improvement proceeding of the symposium sponsored by the geotechnical engineering" New York . Amerian Society of Civil Engineering 1988
19. GILBERT, Robert G. 1995 "Emulsion polymerization : a mechanistic approach". London : Academic.

20. Greenwood D. A. 1983. "Ground stabilisation Deep compaction and grouting" London Telford.
21. <http://normas.imt.mx/carr.htm>
22. [http://www.oxiteno.com.mx/es/aoxiteno/oxiteno mundo/mexico/catalogo productos/catalogo productos.asp](http://www.oxiteno.com.mx/es/aoxiteno/oxiteno_mundo/mexico/catalogo_productos/catalogo_productos.asp)
23. <http://pslc.ws/spanish/emulsion.htm>
24. http://www.zenitech.com/documents/hlb_spanish.pdf
25. Iñigo González, José M. Asua, José R. Leiza "The role of methyl methacrylate on branching and gel formation in the emulsion copolymerization of BA/MMA"
26. ODIAN, George, "Principles of polymerization" 3a ed., [Hoboken, New Jersey, Wiley-Interscience, c 1992](#)
27. PIIRMA, Irja. "Emulsion polymerization". [New york : Academic, 1982](#).
28. Rosen, J. Milton, (1984). "Surfactant and interfacial phenomena" primera edición A Wiley-Interscience Publication.
29. S.C. Jonathan Cheng "Geosinhtetics soil reinforcement testing procedures" Philadelphia Pennsylvania American Society for testing and materials 1993.
30. Scott, Fogler (2001) "Elementos de ingeniería de las reacciones químicas" tercera edición Pearson educación.
31. Sordina, G.V "Engineering properties of weak soils at foundations of building" 1995.

Bibliografía

32. *Terra México* – “Noticias, Deportes, Entretenimiento y Estilo de Vida”. Consultado el día 23 de noviembre de 2009 de: <http://www.terra.com.mx/articulo.aspx?articuloid=798207>

33. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry vol. A21 “Polyacrylates” sexta edición editorial Advisory Board.