



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Análisis de la Dispersión de Arcillas y Organoarcillas en Resinas
Bio- Epóxicas y Aminas Alifáticas en Presencia de Inhibidores
Volátiles de Corrosión”

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentado por:

Hugo Enrique Arroyo Zambrano
Kleber Fernando Macías Castillo
José Manuel Miranda Albán

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2013

AGRADECIMIENTO

Al finalizar un trabajo tan arduo es mi deseo como un gesto de reciprocidad y agradecimiento, dedicar tanto este Proyecto de Grado como el de toda mi vida universitaria a Dios en primera instancia, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por haberme acompañado y dado la mano cuando lo he necesitado a lo largo de mi carrera al permitir desenvolverme en una vida llena de aprendizajes y experiencias.

A mis padres, Hugo e Inés quienes con su paciencia y amor fueron el motor y aliento que impulsaron esas ganas de seguir adelante, no solo en mi vida universitaria sino en el diario vivir, que con su ejemplo y los valores que me inculcaron hicieron un modelo excelente de vida fácil de seguir, contribuyendo

incondicionalmente al logro de mis metas y objetivos.

A mi director de tesis, M.Sc. Andrés Rigail por su esfuerzo y dedicación, quien con su experiencia, su paciencia y su motivación me han orientado en todo momento en la realización de este proyecto y cuyas aportaciones ayudaron a convertirme en una gran persona y profesional en un futuro no muy lejano.

A mis hermanos y familia en general con quienes a través de sus consejos y bromas no dejaron que me rinda aún en los momentos más difíciles a lo largo de mi vida universitaria, por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir y por llenar de alegría y amor mi vida cuando más lo he necesitado.

A los profesores de la ESPOL les agradezco por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que me

trasmitieron, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación como estudiante universitario.

Gracias a todos los que de alguna u otra manera fueron parte de mi formación profesional, a ellos les dedico este logro.

Hugo Enrique Arroyo Zambrano

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mis padres Klever, mi líder quien me ha cuidado desde siempre, dado su amor incondicional y me ha tenido bajo su manto hasta el día de hoy; y Jacqueline, quien se ha convertido en mi amiga, siempre has estado en las buenas y en las malas, gracias por tus consejos llenos de sabiduría y experiencia; les agradezco de corazón por todo el AMOR, los VALORES y el soporte constante que me han brindado durante toda mi vida, han sido mi pilar fundamental desde que era un niño; sin ustedes esto jamás se hubiera convertido en realidad; he sido bendecido por Dios al tenerlos como mis padres; los AMO con toda mi vida.

De igual forma agradezco a mi compañera y futura esposa Estefanía;

gracias mi vida por brindarme tu amor, ayudarme en los momentos que más te he necesitado, por hacerme mejor persona, la alegría que me regalas todos los días y por brindarme la dicha de ser padre, y aceptar juntos el reto de seguir por un mismo camino y construir una hermosa familia, TE AMO. A mi hija Sheccid, que con sus travesuras alegra cada día mi vida y me da la fortaleza de avanzar y el entusiasmo para seguir adelante.

A mis hermanos: Grace, Mariuxi y Andrés con quienes he compartido mi vida hasta el momento, de quienes he aprendido tantos momentos especiales y de quienes me siento orgulloso.

A mis mejores amigos Verónica y Gabriel quienes se han convertido ahora en mi familia, gracias por los consejos y el entusiasmo que siempre han tenido.

A mis compañeros y amigos de proyecto,
Hugo y José; juntos hemos hecho que
este proyecto tome forma y vida.

Y en especial a nuestro director de
Proyecto el M.Sc. Andrés Rigail Cedeño
por la paciencia y el apoyo incondicional
que nos ha brindado a lo largo del
mismo.

Kleber Fernando Macías Castillo

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por darme la fortaleza cada día para seguir adelante a lo largo de mi carrera.

A mis padres, hermanos, abuela y tíos quienes fueron pilares fundamentales en la culminación de mi carrera con su apoyo diario.

Al M.Sc. Andrés Rigail, a quien agradezco por su colaboración y confianza depositada para realizar este proyecto.

José Manuel Miranda Albán

DEDICATORIA

Le dedico este Proyecto de Graduación:

A DIOS

A MIS PADRES Y FAMILIA

A LA ESPOL

A MIS AMIGOS

Hugo Enrique Arroyo Zambrano

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico en especial a mis padres por la hermosa herencia que me han dejado, mi educación, todos los conocimientos, experiencia que me han brindado, y por la esperanza que han puesto en mi de ver sus sueños hechos realidad; jamás los defraudaré, no encuentro la manera de agradecerles tanto amor y entrega hacia todos nosotros; Sus Hijos.

A mis amados hermanos que con cada adversidad me demuestran que siempre podemos ponernos de pie y avanzar con más fuerza y perseverancia.

A mi hermosa Estefanía y mi pequeña princesa Sheccid, para ustedes mi amor, mi vida, todo mi esfuerzo y dedicación, juntos cumpliremos nuestras metas y sueños tan anhelados.

Kleber Fernando Macías Castillo

DEDICATORIA

A Dios por la fortaleza y confianza en mí mismo.

A mis Padres Manuel y Belén a quienes agradezco mucho.

A mis Hermanos Manuel y Andrés a quienes me apoyaron.

A mis Sobrinos Bastian y Ma. Belén a quienes quiero mucho.

A Todos mis Profesores por la enseñanza dada.

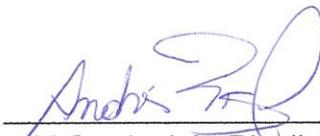
A Mis Amigos que siempre estuvieron conmigo en los tiempos difíciles.

José Manuel Miranda Albán

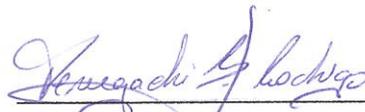
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Dr. Kleber Barcia V., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



M.Sc. Andrés Rigail C.
DIRECTOR



Ing. Rodrigo Perugachi B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Informe de Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

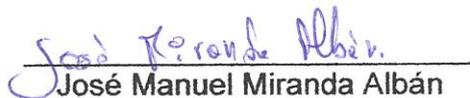
(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Hugo Enrique Arroyo Zambrano



Kleber Fernando Macías Castillo



José Manuel Miranda Albán



RESUMEN

Mejorar las propiedades y optimizar la durabilidad de las pinturas y recubrimientos anticorrosivos mediante la adhesión de organoarcillas e inhibidores orgánicos de corrosión es el objetivo actual de las industrias.

Por lo tanto, en el siguiente proyecto se realizó una investigación dentro del campo de la nanotecnología basados en investigaciones previas, desarrollando diferentes tipos de mezclas con cantidades fijas de resina y una parte porcentual de arcilla y el inhibidor Carboxilato de Amina (RM-210), para determinar un sistema óptimo de exfoliación de nanocompuestos.

Se aplicó una técnica de mezclado por medio de un equipo mezclador de alta velocidad (Speed Mixer) por varios minutos. Se utilizó las siguientes resinas: 3 resinas bio-epóxicas, 6 aminas alifáticas, 4 organoarcillas y un inhibidor de corrosión carboxilato de amina (RM-210). (114 mezclas).

Debido a la humedad presente en el ambiente se trató térmicamente a las arcillas con el objetivo de reducir la humedad de las mismas, para que así tengan un mezclado óptimo y los resultados sean los esperados, se realizaron bajo este procedimiento 24 mezclas entre: resinas, aminas, inhibidor de corrosión y arcillas tratadas térmicamente a una temperatura de

70 °C, las cuales fueron monitoreadas mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) en el período de curación durante 5 días.

Se calculó el asentamiento de las mezclas y posteriormente las fuerzas de fricción, velocidad de adherencia y diámetro hidrodinámico (D.H), utilizando la Ley de Stokes; también se determinó la composición química, interacción en las arcillas, resinas epóxicas y aminas, posible intercalación entre las arcillas con/sin inhibidor y las resinas mediante FTIR como se explica en el capítulo 3. Además se realizó el análisis térmico mediante Termogravimetría (TGA).

Los resultados obtenidos en la investigación mostraron que la mejor mezcla se dio con la resina GE-60 y la arcilla 30B con el inhibidor volátil de corrosión, respecto a las pruebas de asentamiento realizadas, debido a que su tiempo de asentamiento fue el mayor (375 minutos) bajo una gravedad forzada en relación con las otras mezclas de resinas epóxicas.

Para las aminas alifáticas se obtuvo que la mejor compatibilidad se dio con la mezcla entre la amina T-403 y la arcilla 30B (1550 minutos), este ensayo se realizó bajo una gravedad no forzada debido a que los tiempos de asentamiento de las mezclas son relativamente bajos ya que su viscosidad es menor en comparación con las Resinas Epóxicas.

Con lo que respecta al ensayo de pérdida de masa se determinó que la mezcla de Resina GE-60 con la arcilla 30B en presencia de inhibidor de corrosión RM-210 fue la que obtuvo mejores propiedades térmicas con respecto a las otras mezclas, el inhibidor de corrosión incrementó la temperatura de degradación del compuesto además de permitir una buena intercalación al introducirse y separar las placas laminares del compuesto dificultando el ingreso de humedad en dicho compuesto.

Con respecto al ensayo realizado en el espectrómetro determinó las composiciones de las mezclas y los grupos característicos a los que pertenecen los picos mostrados en el análisis. Se pudo observar que, en los resultados obtenidos en el procedimiento del curado, las configuraciones obtenidas pudieron establecer que tan rápido disminuía el porcentaje de amina y epóxico de cada una de las mezclas, teniendo que las aminas EDR-148 y EDR-176 tuvieron mejor comportamiento en lo que respecta a la concentración y conversión de amina en la mezcla.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	V
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XXII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. INFORMACIÓN GENERAL	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	4
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Metodología	5
CAPÍTULO 2	
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1 Fundamentos de Nanocompuestos de epóxicos y arcillas	6
2.1.1 Arcillas y Nanoarcillas.....	9
2.1.2 Agentes de Curado tipo Aminas y Resinas Epóxicas	13
2.1.3 Inhibidores Volátiles de Corrosión.....	23

2.2	Caracterización de los Nanocompuestos de epóxicos y arcillas.....	25
2.2.1.	Espectrometría de Rayos Infrarrojos	25
2.2.2.	Termogravimetría	26
2.2.3.	Análisis de Asentamiento.....	27

CAPÍTULO 3

3.	EXPERIMENTACIÓN	32
3.1.	Materiales, Equipos y Accesorios	32
3.2.	Preparación de las Muestras.....	49
3.3.	Caracterización y Ensayos	53

CAPÍTULO 4

4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	63
4.1	Ensayos.....	63
4.2	Análisis de los Nanocompuestos.....	287

CAPÍTULO 5

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	341
----	-------------------------------------	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

D.H	Diámetro Hidrodinámico
T.T	Tratamiento Térmico
TGA	Análisis de Termogravimetría
FTIR	Espectrometría de Rayos Infrarrojos por Transformada de Fourier
T-403	Jeffamine® polieteramina con densidad 0.97 g/ml
EDR-148	Jeffamine® polieteramina con densidad 0.99 g/ml
EDR-176	Jeffamine® polieteramina con densidad 0.98g/ml
TEPA	Jeffamine® Tretrathylenepentamine con densidad 0.99 g/ml
TETA	Jeffamine® Triethylenetetramine con densidad 0.97 g/ml
D-230	Jeffamine® diamina con densidad 0.95 g/ml
GE-60	ERISYS GE-60 alifático con densidad 1.28 g/ml
GE-38	ERISYS GE-38 alifático con densidad 1.23 g/ml
GE-40	ERISYS GE-40 alifático con densidad 1.24 g/ml
phr	Partes por ciento de resina
CNa ⁺	Cloisite Na ⁺
C20A	Cloisite 20A
C93A	Cloisite 93A
C30B	Cloisite 30B
CA	Carboxilato de Amina
MMT	Montmorillonita
MID	Mid-IR
NIR	Near-IR

SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
g	Gramos
ml	Mililitros
min	Minutos
V_t	Velocidad de Asentamiento
X_t	Distancia de Asentamiento
T	Tiempo de Asentamiento
d	Diámetro hidrodinámico de la Arcilla
\emptyset_{clay}	Diámetro de la Arcilla
ρ_{clay}	Densidad de la Arcilla
ρ_{medio}	Densidad del medio
μ_{medio}	Viscosidad del medio
Na	Sodio
%	Porcentaje
Pa	Pascales
cm	Centímetros
cm^3	Centímetros Cúbicos
s	Segundos
Cst	Centistokes
F_d	Fuerza de Arrastre
mm	Milímetros
N	Newton
v	Viscosidad Cinemática
rpm	Revoluciones por minuto
A	Área

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1	Tipos Básicos de Nanocompuestos.....	7
Figura 2.2	Proceso de Intercambio de Cationes Inorgánicos por Cationes Orgánicos.....	8
Figura 2.3	Estructura de la Nanoarcilla Na ⁺	10
Figura 2.4	Estructura Química Cloisite 20A.....	11
Figura 2.5	Estructura Química Cloisite 30B.....	12
Figura 2.6	Estructura Química Cloisite 93A.....	13
Figura 2.7	Amina Primaria.....	13
Figura 2.8	Amina Secundaria.....	14
Figura 2.9	Amina Terciaria.....	14
Figura 2.10	Puentes de hidrógeno en moléculas con nitrógenos.....	15
Figura 2.11	Estructura Química de Jeffamine EDR-148.....	16
Figura 2.12	Estructura Química de Jeffamine EDR-176.....	17
Figura 2.13	Estructura Química de Jeffamine D-230.....	17
Figura 2.14	Estructura Química de Jeffamine T-403.....	18
Figura 2.15	Estructura Química de TETA Triethylenetetramine.....	19
Figura 2.16	Estructura Química de TEPA Tretrathylenepentamine.....	20
Figura 2.17	Estructura del grupo Oxirano.....	21
Figura 2.18	Reacción entre el Bisfenol A y la Epiclorhidrina para formar una Resina Epóxica.....	21
Figura 2.19	Estructura Química Resina GE-38, Polyglycerol-3-Polyglycidyl Ether.....	22
Figura 2.20	Estructura Química Resina GE-40, Pentaerythritol Polyglycidyl Ether.....	22
Figura 2.21	Estructura Química Resina GE-60, Sorbitol Glycidyl Ether.....	23
Figura 2.22	Estructura molecular de un tipo Carboxilato de Amino.....	24
Figura 2.23	Espectrómetro.....	26
Figura 2.24	Esquema Termogravimetría.....	27
Figura 2.25	Prueba de Asentamiento.....	31
Figura 3.1	Cloisite [®] Na ⁺	33
Figura 3.2	Cloisite [®] 20A.....	33
Figura 3.3	Cloisite [®] 30B.....	34
Figura 3.4	Cloisite [®] 93A.....	34
Figura 3.5	Jeffamine EDR-148.....	35
Figura 3.6	Jeffamine EDR-176.....	35
Figura 3.7	Jeffamine D-230.....	36

Figura 3.8	Jeffamine T-403.....	36
Figura 3.9	TETA Triethylenetetramine.....	37
Figura 3.10	TEPA Tretrathylenepentamine.....	37
Figura 3.11	Resina Epóxica GE-38.....	38
Figura 3.12	Resina Epóxica GE-40.....	38
Figura 3.13	Resina Epóxica GE-60.....	39
Figura 3.14	Carboxilato de Amino (RM-210).....	39
Figura 3.15	Balanza Analítica Electrónica LabNics 100A.....	40
Figura 3.16	Higrómetro (Elicrom).....	40
Figura 3.17	Equipo Centrifugador (Ample Scientific L.L.C.).....	41
Figura 3.18	Equipo Speed Mixer(DAC 400.1 FVZ).....	42
Figura 3.19	Espectrofotómetro de Rayos Infrarrojos.....	42
Figura 3.20	Analizador Termogravimétrico SDT Q600.....	43
Figura 3.21	Horno Universal Memmert UNE 550.....	44
Figura 3.22	Vidrio Reloj Y Pinzas.....	45
Figura 3.23	Mechero Bunsen.....	45
Figura 3.24	Espátula de Acero Inoxidable.....	46
Figura 3.25	Guantes.....	46
Figura 3.26	Pipetas Plásticas.....	46
Figura 3.27	Acetona.....	47
Figura 3.28	Jeringa.....	47
Figura 3.29	Tubos para centrifugadora de 15 ml.....	48
Figura 3.30	Envases Plásticos.....	48
Figura 3.31	Procedimiento para Realizar el Ensayo de Asentamiento	55
Figura 3.32	Procedimiento para Realizar el Ensayo Termogravimétrico.....	59
Figura 3.33	Procedimiento Para Realizar El Ensayo De Rayos Infrarrojos.....	62
Figura 4.1	Amina EDR-148 + Nanoarcilla 20A + Inhibidor Minuto 15	73
Figura 4.2	Amina EDR-148 + Nanoarcilla 30B + Inhibidor Minuto 15	74
Figura 4.3	Amina EDR-148 + Nanoarcilla 93A + Inhibidor Minuto 15	74
Figura 4.4	Amina EDR-148 + Nanoarcilla Na ⁺ + Inhibidor Minuto 15	74
Figura 4.5	Amina EDR-176 + Nanoarcilla 20A + Inhibidor Minuto 15	75
Figura 4.6	Amina EDR-176 + Nanoarcilla 30B + Inhibidor Minuto 15	75
Figura 4.7	Amina EDR-176 + Nanoarcilla 93A + Inhibidor Minuto 15	75
Figura 4.8	Amina EDR-176 + Nanoarcilla Na ⁺ + Inhibidor Minuto 15	76
Figura 4.9	Amina T-403 + Nanoarcilla 20A + Inhibidor Minuto 15.....	76
Figura 4.10	Amina T-403 + Nanoarcilla 30B + Inhibidor Minuto 15.....	76
Figura 4.11	Amina T-403 + Nanoarcilla 93A + Inhibidor Minuto 15.....	77
Figura 4.12	Amina T-403 + Nanoarcilla Na ⁺ + Inhibidor Minuto 15.....	77
Figura 4.13	Amina D-230 + Nanoarcilla 20A + Inhibidor Minuto 15.....	77
Figura 4.14	Amina D-230 + Nanoarcilla 30B + Inhibidor Minuto 15.....	78
Figura 4.15	Amina D-230 + Nanoarcilla 93A + Inhibidor Minuto 15.....	78
Figura 4.16	Amina D-230 + Nanoarcilla Na ⁺ + Inhibidor Minuto 15.....	78

Figura 4.17	Amina TEPA + Nanoarcilla 20A + Inhibidor Minuto 15.....	79
Figura 4.18	Amina TEPA + Nanoarcilla 30B + Inhibidor Minuto 15.....	79
Figura 4.19	Amina TEPA + Nanoarcilla 93A + Inhibidor Minuto 15.....	79
Figura 4.20	Amina TEPA + Nanoarcilla Na ⁺ + Inhibidor Minuto 15.....	80
Figura 4.21	Amina TETA + Nanoarcilla 20A + Inhibidor Minuto 15.....	80
Figura 4.22	Amina TETA + Nanoarcilla 30B + Inhibidor Minuto 15.....	80
Figura 4.23	Amina TETA + Nanoarcilla 93A + Inhibidor Minuto 15.....	81
Figura 4.24	Amina TETA + Nanoarcilla Na ⁺ + Inhibidor Minuto 15.....	81
Figura 4.25	Amina D-230 + Nanoarcilla 20A Minuto 15.....	82
Figura 4.26	Amina D-230 + Nanoarcilla 30B Minuto 15.....	82
Figura 4.27	Amina D-230 + Nanoarcilla 93A Minuto 15.....	82
Figura 4.28	Amina D-230 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 15.....	83
Figura 4.29	Amina EDR-148 + Nanoarcilla 20A Minuto 15.....	83
Figura 4.30	Amina EDR-148 + Nanoarcilla 30B Minuto 15.....	83
Figura 4.31	Amina EDR-148 + Nanoarcilla 93A Minuto 15.....	84
Figura 4.32	Amina EDR-148 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 15.....	84
Figura 4.33	Amina EDR-176 + Nanoarcilla 20A Minuto 15.....	84
Figura 4.34	Amina EDR-176 + Nanoarcilla 30B Minuto 15.....	85
Figura 4.35	Amina EDR-176 + Nanoarcilla 93A Minuto 15.....	85
Figura 4.36	Amina EDR-176 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 15.....	85
Figura 4.37	Amina T-403 + Nanoarcilla 20A Minuto 15.....	86
Figura 4.38	Amina T-403 + Nanoarcilla 30B Minuto 15.....	86
Figura 4.39	Amina T-403 + Nanoarcilla 93A Minuto 15.....	86
Figura 4.40	Amina T-403 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 15.....	87
Figura 4.41	Amina TEPA + Nanoarcilla 20A Minuto 15.....	87
Figura 4.42	Amina TEPA + Nanoarcilla 30B Minuto 15.....	87
Figura 4.43	Amina TEPA + Nanoarcilla 93A Minuto 15.....	88
Figura 4.44	Amina TEPA + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 15.....	88
Figura 4.45	Amina TETA + Nanoarcilla 20A Minuto 15.....	88
Figura 4.46	Amina TETA + Nanoarcilla 30B Minuto 15.....	89
Figura 4.47	Amina TETA + Nanoarcilla 93A Minuto 15.....	89
Figura 4.48	Amina TETA + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 15.....	89
Figura 4.49	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Minuto 15.....	90
Figura 4.50	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Minuto 30.....	90
Figura 4.51	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 30B Minuto 15.....	91
Figura 4.52	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 30B Minuto 30.....	91
Figura 4.53	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 93A Minuto 15.....	91
Figura 4.54	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 93A Minuto 30.....	92
Figura 4.55	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 15.....	92
Figura 4.56	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 30.....	92
Figura 4.57	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 20A Minuto 0.....	93
Figura 4.58	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 20A Minuto 15.....	93
Figura 4.59	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 20A Minuto 30.....	93
Figura 4.60	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 20A Minuto 45.....	94

Figura 4.61	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 20A Minuto 60.....	94
Figura 4.62	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 30B Minuto 0.....	94
Figura 4.63	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 30B Minuto 15.....	95
Figura 4.64	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 30B Minuto 30.....	95
Figura 4.65	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 30B Minuto 45.....	95
Figura 4.66	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 30B Minuto 60.....	96
Figura 4.67	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 93A Minuto 0.....	96
Figura 4.68	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 93A Minuto 15.....	96
Figura 4.69	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 93A Minuto 30.....	97
Figura 4.70	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 93A Minuto 45.....	97
Figura 4.71	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 93A Minuto 60.....	97
Figura 4.72	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 0.....	98
Figura 4.73	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 15.....	98
Figura 4.74	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 30.....	99
Figura 4.75	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 45.....	99
Figura 4.76	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla Na ⁺ Minuto 60.....	100
Figura 4.77	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 0.....	100
Figura 4.78	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 15.....	101
Figura 4.79	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 30.....	101
Figura 4.80	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 45.....	102
Figura 4.81	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 60.....	102
Figura 4.82	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 75.....	103
Figura 4.83	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 90.....	103
Figura 4.84	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 105.....	104
Figura 4.85	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 120.....	104
Figura 4.86	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 135.....	105
Figura 4.87	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 20A Y 30B Minuto 150.....	105
Figura 4.88	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 0.....	106
Figura 4.89	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 15.....	106
Figura 4.90	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 30.....	107

Figura 4.91	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 45.....	107
Figura 4.92	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 60.....	108
Figura 4.93	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 75.....	108
Figura 4.94	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 90.....	109
Figura 4.95	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 105.....	109
Figura 4.96	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 120.....	110
Figura 4.97	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 135.....	110
Figura 4.98	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 150.....	111
Figura 4.99	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 165.....	111
Figura 4.100	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 180.....	112
Figura 4.101	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 195.....	112
Figura 4.102	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 20A, 30B, 93A Con Horno Y Sin Horno Minuto 210.....	113
Figura 4.103	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 30B, 93A Con Horno Minuto 0.....	113
Figura 4.104	Resina Epóxica GE-60 + Nanoarcilla 30B, 93A Con Horno Asentado.....	114
Figura 4.105	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 30B, 93A Con Horno Minuto 0.....	114
Figura 4.106	Resina Epóxica GE-38 + Nanoarcilla 30B, 93A Con Horno Totalmente Asentado.....	115
Figura 4.107	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 30B, 93A Con Horno Minuto 0.....	115
Figura 4.108	Resina Epóxica GE-40 + Nanoarcilla 30B, 93A Con Horno Totalmente Asentado.....	116
Figura 4.109	Amina D-230 + Nanoarcillas Con Horno Minuto 0.....	116
Figura 4.110	Amina D-230 + Nanoarcillas Con Horno Totalmente Asentada.....	117
Figura 4.111	Amina EDR-176 + Nanoarcillas Con Horno Minuto 0.....	117
Figura 4.112	Amina EDR-176 + Nanoarcillas Con Horno Totalmente Asentada.....	118
Figura 4.113	Amina EDR-148 + Nanoarcillas Con Horno Minuto 0.....	118
Figura 4.114	Amina EDR-148 + Nanoarcillas Con Horno Totalmente	

	Asentadas.....	119
Figura 4.115	Amina TETA + Nanoarcillas Con Horno Minuto 0.....	119
Figura 4.116	Amina TETA + Nanoarcillas Con Horno Totalmente Asentadas.....	120
Figura 4.117	Amina TEPA + Nanoarcillas Con Horno Minuto 0.....	120
Figura 4.118	Amina TEPA + Nanoarcillas Con Horno Totalmente Asentadas.....	121
Figura 4.119	Amina T-403 + Nanoarcillas Con Horno Minuto 0.....	121
Figura 4.120	Amina T-403 + Nanoarcillas Con Horno Totalmente Asentadas.....	122
Figura 4.121	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Amina TEPA.....	126
Figura 4.122	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Amina TETA.....	126
Figura 4.123	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Amina EDR-176.....	127
Figura 4.124	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Amina EDR-148.....	127
Figura 4.125	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Amina D-230.....	128
Figura 4.126	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Amina T-403.....	128
Figura 4.127	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Arcilla 20A En Diferentes Aminas.....	131
Figura 4.128	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Arcilla 30B En Diferentes Aminas.....	133
Figura 4.129	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Arcilla 93A En Diferentes Aminas.....	135
Figura 4.130	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	138
Figura 4.131	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	141
Figura 4.132	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	144
Figura 4.133	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	146
Figura 4.134	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	148
Figura 4.135	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Arcilla 30B En Diferentes Resinas.....	150
Figura 4.136	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Arcilla 93A En Diferentes Resinas.....	152
Figura 4.137	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Arcilla 93A-30B En Misma Resina.....	153

Figura 4.138	Relación De Diámetros Hidrodinámicos De Arcilla 30B-93A En Distintas Resinas.....	154
Figura 4.139	Velocidad De Asentamiento De Arcilla 20A En Distintas Aminas.....	156
Figura 4.140	Velocidad De Asentamiento De Arcilla Na ⁺ En Distintas Aminas.....	157
Figura 4.141	Velocidad De Asentamiento De Arcilla 30B En Distintas Resinas Y Aminas.....	157
Figura 4.142	Velocidad De Asentamiento De Arcilla 93A En Distintas Resinas Y Aminas.....	158
Figura 4.143	Fuerza De Fricción Entre C30B-Resinas Epóxicas Y C30B-Aminas Alifáticas.....	160
Figura 4.144	Fuerza De Fricción Entre C93A-Resinas Epóxicas Y C93A-Aminas Alifáticas.....	161
Figura 4.145	Fuerza De Fricción Entre CNa ⁺ Y Aminas Alifáticas.....	161
Figura 4.146	Fuerza De Fricción Entre C20A Y Aminas Alifáticas.....	162
Figura 4.147	TGA De Resina Epóxica GE-60 pura.....	164
Figura 4.148	TGA De Resina Epóxica GE-40 pura.....	165
Figura 4.149	TGA De Resina Epóxica GE-38 pura.....	166
Figura 4.150	TGA De C93A.....	167
Figura 4.151	TGA Del Inhibidor De Corrosión Carboxilato De Amino (RM210).....	169
Figura 4.152	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica Ge-60, Nanoarcilla Cloisite 93a Al 5%, Con Horno Y Sin Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	170
Figura 4.153	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica Ge-60, Nanoarcilla Cloisite 93a Al 5%, Con Horno Y Con Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	172
Figura 4.154	TGA De La Mezcla Entre, Resina GE-40 Y Organoarcilla 93A Precalentada en Horno y Sin Inhibidor de Corrosión.....	173
Figura 4.155	TGA De La Mezcla Entre, Resina GE-40 Y Organoarcilla 93A Precalentada en Horno y Con Inhibidor de Corrosión.....	175
Figura 4.156	TGA De La Mezcla Entre, Resina GE-38 Y Organoarcilla 93A Precalentada En Horno Y Sin Inhibidor De Corrosión.....	176
Figura 4.157	TGA De La Mezcla Entre, Resina GE-38 Y Organoarcilla 93A Precalentada En Horno Y Con Inhibidor De Corrosión.....	178
Figura 4.158	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-60, Nanoarcilla Cloisite 93A Al 5%, Sin Horno Y Sin Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	181
Figura 4.159	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica Ge-60,	

	Nanoarcilla Cloisite 93A Al 5%, Sin Horno Y Con Presencia De Inhibidor De Corrosión Al 1%.....	182
Figura 4.160	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica Ge-40, Nanoarcilla Cloisite 93A Al 5%, Sin Horno Y Sin Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	184
Figura 4.161	TGA De La Mezcla Entre, Resina GE-40 Y Organoarcilla 93A Sin Horno Y Con Inhibidor De Corrosión.....	185
Figura 4.162	TGA De La Mezcla Entre, Resina Ge-38 Y Organoarcilla 93A Sin Horno Y Sin Inhibidor De Corrosión.....	187
Figura 4.163	TGA De La Mezcla Entre, Resina Ge-38 Y Organoarcilla 93A Sin Horno Y Con Inhibidor De Corrosión.....	189
Figura 4.164	TGA De Nanoarcilla C30B.....	191
Figura 4.165	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-60, Nanoarcilla Cloisite 30B Al 5%, Con Horno Y Sin Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	192
Figura 4.166	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-60, Nanoarcilla Cloisite 30B Al 5%, Con Horno Y Con Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	194
Figura 4.167	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-40, Nanoarcilla Cloisite 30B Al 5%, Con Horno Y Sin Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	197
Figura 4.168	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-40, Nanoarcilla Cloisite 30B Al 5%, Con Horno Y Con Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	199
Figura 4.169	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-60, Nanoarcilla Cloisite 30B Al 5%, Con Horno Y Con Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	201
Figura 4.170	TGA De La Mezcla Entre: Resina Epóxica Ge-38, Nanoarcilla Cloisite 30b Al 5%, Con Horno Y Con Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	203
Figura 4.171	TGA Comparativo De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-38, Nanoarcilla Cloisite 30B Y 93A Al 5%, Con Horno Y Sin Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	206
Figura 4.172	TGA Comparativo De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-38, Nanoarcilla Cloisite 30B Y 93A Al 5%, Con Horno Y Con Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	207
Figura 4.173	TGA Comparativo De Todas Las Mezcla Con La Resina GE-38.....	208
Figura 4.174	TGA Comparativo De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-40, Nanoarcilla Cloisite 30b Y 93a Al 5%, Con Horno Y Sin Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	210
Figura 4.175	TGA Comparativo De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-38, Nanoarcilla Cloisite 30B Y 93A Al 5%, Con	

	Horno Y Con Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	211
Figura 4.176	TGA Comparativo De Todas Las Mezcla Con La Resina GE-40.....	212
Figura 4.177	TGA Comparativo De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-60, Nanoarcilla Cloisite 30B Y 93A Al 5%, Con Horno Y Sin Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	213
Figura 4.178	TGA Comparativo De La Mezcla Entre: Resina Epóxica GE-60, Nanoarcilla Cloisite 30B Y 93A Al 5%, Con Horno Y Con Presencia De Inhibidor De Corrosión.....	215
Figura 4.179	TGA Comparativo De Todas Las Mezcla Con La Resina GE-60.....	216
Figura 4.180	TGA Comparativo De Todas Las Mezclas Con La Nanoarcilla C93A Sin Presencia De Inhibidor.....	217
Figura 4.181	TGA Comparativo De Todas Las Mezcla Con La Nanoarcilla C93A Con Presencia De Inhibidor.....	218
Figura 4.182	TGA Comparativo De Todas Las Mezcla Con La Nanoarcilla C30B Sin Presencia De Inhibidor.....	219
Figura 4.183	TGA Comparativo De Todas Las Mezcla Con La Nanoarcilla C30B Con Presencia De Inhibidor.....	220
Figura 4.184	GE-38 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno.....	223
Figura 4.185	GE-38 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno.....	226
Figura 4.186	GE-40 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno.....	229
Figura 4.187	GE-40 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno.....	232
Figura 4.188	GE-60 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno.....	234
Figura 4.189	GE-60 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno.....	237
Figura 4.190	GE-38 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Con Inhibidor.....	240
Figura 4.191	GE-38 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Sin Inhibidor.....	242
Figura 4.192	GE-40 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Con Inhibidor.....	244
Figura 4.193	GE-40 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Sin Inhibidor.....	246
Figura 4.194	Amina D-230 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Inhibidor.....	248
Figura 4.195	Amina D-230 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Inhibidor.....	250
Figura 4.196	EDR-148 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Inhibidor.....	252
Figura 4.197	Amina EDR-148 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Inhibidor.....	254
Figura 4.198	Amina EDR-176 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Inhibidor.....	256
Figura 4.199	Amina EDR-176 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin	

	Inhibidor.....	258
Figura 4.200	GE-60 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno.....	260
Figura 4.201	GE-60 Con Las Diferentes Nanoarcillas.....	263
Figura 4.202	Amina T-403 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Inhibidor.....	266
Figura 4.203	Amina T-403 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Inhibidor.....	268
Figura 4.204	Amina D-230 Con Diferentes Nanoarcillas Con Horno, Sin Inhibidor.....	270
Figura 4.205	Amina EDR-148 Con Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	272
Figura 4.206	Amina EDR-176 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	274
Figura 4.207	Amina T-403 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	276
Figura 4.208	Amina TEPA Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	278
Figura 4.209	Amina TETA Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	279
Figura 4.210	Amina TEPA Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Con Inhibidor.....	281
Figura 4.211	Amina TEPA Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Sin Inhibidor.....	283
Figura 4.212	Amina TETA Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Con Inhibidor.....	284
Figura 4.213	Amina TETA Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Sin Inhibidor.....	286
Figura 4.214	GE-60 Con EDR-148 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	288
Figura 4.215	GE-60 Con EDR-176 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	288
Figura 4.216	GE-60 Con T-403 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	289
Figura 4.217	GE-60 Con D-230 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	289
Figura 4.218	GE-60 Con TETA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	290
Figura 4.219	GE-60 Con TEPA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	290
Figura 4.220	GE-60 30B EDR-148 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	291
Figura 4.221	GE-60 30B-CA EDR-148 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	292
Figura 4.222	GE-60 93A EDR-148 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3,	

	4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	292
Figura 4.223	GE-60 93A-CA EDR-148 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	293
Figura 4.224	GE-60 30B EDR-176 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	293
Figura 4.225	GE-60 30B-CA EDR-176 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	294
Figura 4.226	GE-60 93A EDR-176 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	294
Figura 4.227	GE-60 93A-CA EDR-176 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	295
Figura 4.228	GE-60 30B D-230 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	295
Figura 4.229	GE-60 30B-CA D-230 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	296
Figura 4.230	GE-60 93A D-230 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	296
Figura 4.231	GE-60 93A-CA D-230 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	297
Figura 4.232	GE-60 30B T-403 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	297
Figura 4.233	GE-60 30B-CA T-403 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	298
Figura 4.234	GE-60 93A T-403 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	298
Figura 4.235	GE-60 93A-CA T-403 Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	299
Figura 4.236	GE-60 30B TEPA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	299
Figura 4.237	GE-60 30B-CA TEPA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	300
Figura 4.238	GE-60 93A TEPA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	300
Figura 4.239	GE-60 93A-CA TEPA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	301
Figura 4.240	GE-60 30B TETA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	301
Figura 4.241	GE-60 30B-CA TETA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	302
Figura 4.242	GE-60 93A TETA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	302
Figura 4.243	GE-60 93A-CA TETA Y Tiempo De Curado: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Horas.....	303
Figura 4.244	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De	

	Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 EDR-148.....	308
Figura 4.245	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 30B EDR-148.....	309
Figura 4.246	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 30B-CA EDR-148.....	310
Figura 4.247	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 93A EDR-148.....	311
Figura 4.248	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 93A-CA 93A EDR-148.....	312
Figura 4.249	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 EDR-176.....	315
Figura 4.250	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 30B EDR-176.....	316
Figura 4.251	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 30B-CA EDR-176.....	317
Figura 4.252	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 93A EDR-176.....	318
Figura 4.253	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 93A-CA EDR-176.....	319
Figura 4.254	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 D-230.....	322
Figura 4.255	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 30B D-230.....	323
Figura 4.256	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 30B-CA D-230.....	324
Figura 4.257	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (horas), Mezcla GE-60 93A D-230.....	325
Figura 4.258	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 93A-CA D-230.....	326

Figura 4.259	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 T-403.....	329
Figura 4.260	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 30B T-403.....	330
Figura 4.261	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla Ge-60 30B-CA T-403.....	331
Figura 4.262	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla Ge-60 93a T-403.....	332
Figura 4.263	(a) Concentración De Amina Y (b) Conversión De Epóxico Y Amina En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla Ge-60 93A-CA T-403.....	333
Figura 4.264	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 TETA.....	334
Figura 4.265	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 C30B TETA.....	334
Figura 4.266	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 C30B-CA TETA.....	335
Figura 4.267	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 C93A TETA.....	335
Figura 4.268	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 C93A-CA TETA.....	336
Figura 4.269	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 TEPA.....	336
Figura 4.270	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 C30B TEPA.....	337
Figura 4.271	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 C30B-CA TEPA.....	337
Figura 4.272	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 C93A TEPA.....	338
Figura 4.273	Conversión De Epóxico En Función Del Tiempo De Curado (Horas), Mezcla GE-60 C93A-CA TEPA.....	338

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Asentamiento De Las Arcillas En Resina GE-60 con Equipo Centrifugador.....	64
Tabla 2	Asentamiento De Las Arcillas En Resina GE-38 con Equipo Centrifugador.....	64
Tabla 3	Asentamiento De Las Arcillas En Resina GE-40 con Equipo Centrifugador.....	65
Tabla 4	Asentamiento De Las Arcillas T.T En Amina EDR-176.....	65
Tabla 5	Asentamiento De Las Arcillas T.T En Amina T-403.....	66
Tabla 6	Asentamiento De Las Arcillas T.T En Amina EDR-148.....	67
Tabla 7	Asentamiento De Las Arcillas T.T En Amina TETA.....	68
Tabla 8	Asentamiento De Las Arcillas T.T En Amina TEPA.....	69
Tabla 9	Asentamiento De Las Arcillas T.T En Amina D-230.....	70
Tabla 10	Asentamiento De Las Arcillas T.T En Resina GE-60.....	71
Tabla 11	Asentamiento De Las Arcillas T.T En Resina GE-38.....	72
Tabla 12	Asentamiento De Las Arcillas T.T En Resina GE-40.....	72
Tabla 13	Asentamiento Total de las Arcillas en Resinas.....	122
Tabla 14	Asentamiento Total de las Arcillas en Aminas.....	123
Tabla 15	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre Diferentes Arcillas En Una Misma Amina.....	125
Tabla 16	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre La Arcilla 20A En Diferentes Aminas.....	131
Tabla 17	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre La Arcilla 30B En Diferentes Aminas.....	133
Tabla 18	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre La Arcilla 93A En Diferentes Aminas.....	135
Tabla 19	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	136
Tabla 20	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	140
Tabla 21	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	143
Tabla 22	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	145
Tabla 23	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre Diferentes Arcillas En Diferentes Aminas.....	148
Tabla 24	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre La Arcilla 30B En Diferentes Resina.....	150
Tabla 25	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre La Arcilla	

	93A En Diferentes Resina.....	151
Tabla 26	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre Diferentes Arcillas En Una Misma Resina.....	152
Tabla 27	Relación De Diámetros Hidrodinámicos Entre Diferentes Arcillas En Diferentes Resinas.....	154
Tabla 28	Velocidad De Asentamiento De Arcillas En Resinas.....	155
Tabla 29	Velocidad De Asentamiento De Arcillas En Aminas.....	156
Tabla 30	Fuerza De Arrastre En Resinas.....	160
Tabla 31	Fuerza De Arrastre En Aminas.....	160
Tabla 32	TGA porcentaje de Agua Libre (entre 100°C-120°C).....	221
Tabla 33	TGA Degradación De Las Resinas Epóxicas.....	221
Tabla 34	TGA Degradación De La Nanoarcilla Y Nuevos Componentes.....	222
Tabla 35	GE-38 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno.....	225
Tabla 36	GE-38 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno.....	228
Tabla 37	GE-40 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno.....	231
Tabla 38	GE-60 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno.....	239
Tabla 39	Amina D-230 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Inhibidor.....	249
Tabla 40	Amina D-230 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Inhibidor.....	251
Tabla 41	Amina EDR-148 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Inhibidor.....	253
Tabla 42	Amina EDR-148 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Inhibidor.....	255
Tabla 43	Amina EDR-176 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Inhibidor.....	257
Tabla 44	Amina EDR-176 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Inhibidor.....	259
Tabla 45	GE-60 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno.....	262
Tabla 46	GE-60 Con Las Diferentes Nanoarcillas.....	265
Tabla 47	Amina T-403 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Inhibidor.....	267
Tabla 48	Amina T-403 Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Inhibidor.....	269
Tabla 49	Amina D-230 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	271
Tabla 50	Amina EDR-148 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	273
Tabla 51	Amina EDR-176 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	275
Tabla 52	Amina T-403 Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	277
Tabla 53	Amina TEPA Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno	

	Sin Inhibidor.....	279
Tabla 54	Amina TETA Con Las Diferentes Nanoarcillas Con Horno Sin Inhibidor.....	280
Tabla 55	Amina TEPA Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Con Inhibidor.....	282
Tabla 56	Amina TEPA Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Sin Inhibidor.....	284
Tabla 57	Amina TETA Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Con Inhibidor.....	285
Tabla 58	Amina TETA Con Las Diferentes Nanoarcillas Sin Horno Sin Inhibidor.....	287
Tabla 59	Porcentaje De Conversión Final Ep Y Ap De EDR-148.....	339
Tabla 60	Porcentaje De Conversión Final Ep Y Ap De EDR-176.....	339
Tabla 61	Porcentaje De Conversión Final Ep Y Ap De D-230.....	339
Tabla 62	Porcentaje De Conversión Final Ep Y Ap DE T-403.....	340
Tabla 63	Porcentaje De Conversión Final Ep DE TETA.....	340
Tabla 64	Porcentaje De Conversión Final Ep DE TEPA.....	340

INTRODUCCIÓN

En el presente Informe de Proyecto de Graduación, se determinó un sistema óptimo de exfoliación de arcillas en resinas epóxicas o aminas. Llevando a cabo una investigación realizada en el Laboratorio de Ensayos Metrológicos y Materiales (LEMAT) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

En esta investigación se realizaron tres ensayos:

Ensayo de Asentamiento.- para obtener la mejor compatibilidad entre nanoarcillas con resinas epóxicas y aminas alifáticas en presencia de inhibidor volátil de corrosión.

Ensayo Termogravimétrico (TGA).- para análisis de estabilidad y degradación térmica de las diferentes mezclas.

Ensayo de Rayos Infrarrojos en el Espectrómetro (FTIR).- para el análisis cualitativo de las estructuras moleculares de las mezclas.

Estos ensayos permiten encontrar la proporción correcta de nanoarcilla e inhibidor de corrosión en una matriz epóxico-amina de un film que mostró como resultado una estructura óptima de red mejorando sus propiedades, analizando la variación de porcentajes de los grupos amino con respecto a la resina, lo que es indispensable para la obtención de recubrimientos con mayor resistencia contra la corrosión.

CAPÍTULO 1

1. INFORMACIÓN GENERAL

El estudio de nanocompuestos ha adquirido gran importancia en el campo de los materiales debido a las mejoras que presentan los materiales en sus propiedades mecánicas, térmicas y de barrera. En el presente trabajo los nanocompuestos están formados con silicatos basados en montmorillonita (MMT) y resinas epóxicas, así como también de aminas. Previo a este estudio hay evidencia de que al modificar ciertas matrices de resina epóxica con la adición de arcillas se mejoran las propiedades mecánicas y algunas químicas.

Durante décadas, los materiales metálicos como los aceros, se han tratado de proteger con recubrimientos para que su oxidación sea más lenta y prolongar el tiempo de vida del material base.

Para desarrollar un recubrimiento que mejore las propiedades anticorrosivas, se han realizado combinaciones de ciertas resinas epóxicas y agentes de curado, como las aminas, con los diferentes tipos de arcillas. En investigaciones anteriores obtuvieron mejores resultados

aquellas resinas epóxicas que contienen Bisfenol A [1], [2], [3]. Además, como agentes de curado se han utilizado las polieteramina de la serie jeffamine para las demás pruebas combinadas con los diferentes tipos de arcillas (Sódica, 20A, 30B, 93A). En esas investigaciones se buscó, con los diferentes tipos de combinaciones, encontrar la mezcla que mejore las propiedades mecánicas y químicas de la pintura atribuyendo su incremento al grado de exfoliación de las láminas de silicatos utilizando las resinas epóxicas como base.

Con relación al agente de curado, en otra investigación se pudo constatar que sirve para aumentar el espacio interlaminar de las arcillas comerciales tanto la Sódica, Cloisite 20A, y Cloisite 30B [4]. Se observó un ligero aumento en el espacio basal de las capas interlaminares con lo que se mejoró la interrelación con las sustancias epóxicas, aumentando su compatibilidad y mejorando su distribución. Esta investigación mostró que las resinas que contenían la arcilla Cloisite 20A obtuvo una mejora en la temperatura de degradación según análisis en el TGA.

Mediante FTIR se constató una modificación en la estructura de la arcilla Cloisite 20A esto sugiere que existe la presencia de inhibidor entre las capas de arcilla observando una intercalación y en algunos casos exfoliación en el nanocompuesto [5].

1.1 Planteamiento del Problema

Determinar el sistema óptimo de Nanocompuestos de resinas-arcillas-inhibidor de corrosión mediante las técnicas de asentamiento, FTIR y TGA. Adicionalmente, determinar mediante FTIR que amina permite un mejor curado a temperatura ambiente cuando fue mezclado con la resina epóxicas y las organoarcillas.

1.2 Objetivos

El objetivo general en este informe de proyecto de graduación es determinar la mejor compatibilidad de las organoarcillas en resinas bio-epóxicas o aminas alifáticas, mediante los diferentes ensayos ya mencionados. Además de los objetivos específicos que son:

- Analizar el grado de compatibilidad de las arcillas en presencia del inhibidor de corrosión.
- Determinar los asentamientos de las arcillas en caso resinas bio-epóxicas y aminas alifáticas aplicando la ley Stokes.
- Analizar la estabilidad térmica de los Nanocompuestos mediante el uso de TGA.
- Analizar la composición química de los Nanocompuestos y sus potenciales interacciones mediante el uso de Infrarrojo (Near-IR y Mid-IR).

- Determinar la proporción óptima para el curado (matriz resino-amino) mediante la técnica de infrarrojos (Near-IR)

1.3 Metodología

La metodología usada en esta investigación fue prueba y error, mezclándose organoarcillas con resinas bio-epóxicas y aminas alifáticas, utilizando un mezclador de alta velocidad. Las arcillas tuvieron tratamiento térmico (T.T), al igual que el inhibidor para eliminar la humedad y determinar si la humedad afecta los resultados.

Se utilizaron los siguientes materiales: 3 resinas bio-epóxicas, 6 aminas alifáticas, 4 arcillas y un inhibidor volátil de corrosión.

Se midió el asentamiento con aceleramiento de gravedad usando un equipo centrifugador y se determinó la dispersión basada en asentamiento como indicativo de compatibilidad entre arcillas, inhibidor, resinas y aminas.

Se realizó curado en una matriz resino-amino para determinar una estructura óptima de red.

Se determinó la composición química mediante FTIR de todas las mezclas realizadas.

Además se realizó prueba de TGA de los sistemas de mejor rendimiento para determinar la degradación de los diferentes compuestos de las mezclas.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Fundamentos de Nanocompuestos de Epóxicos y Arcillas

Los nanocompuestos, son materiales que incorporan partículas de tamaño nanométrico en una matriz de material estándar. El resultado de la adición de las nanopartículas da como resultado la mejora en las propiedades, que pueden incluir la resistencia mecánica, dureza y conductividad eléctrica o térmica. La eficacia de las nanopartículas es tal que la cantidad de material añadido es normalmente sólo entre 0,5 y 5% en peso. [6]

La arcilla orgánica, es un silicato estratificado orgánicamente modificado, derivado de un mineral de arcilla de origen natural.

En la actualidad nanoarcillas también conocidas como organoarcillas es el término que hace referencia a las arcillas procesadas, las cuales son modificadas a nivel nanométrico. Se suelen denominar “organoclays”. [7]

Cuando se dispersa la organoarcilla en la matriz epóxica se obtiene dos tipos básicos de Nanocompuestos los cuales se muestran en la figura 2.1:

- *Nanocompuestos Intercalados*.- Las cadenas de los polímeros están ampliamente extendidas entre las placas de nanoarcillas.
- *Nanocompuestos Exfoliados*.- Las placas de organoarcilla se encuentran completamente dispersas en la matriz polimérica, por lo cual no existen espacios basales, o estos son muy grandes.

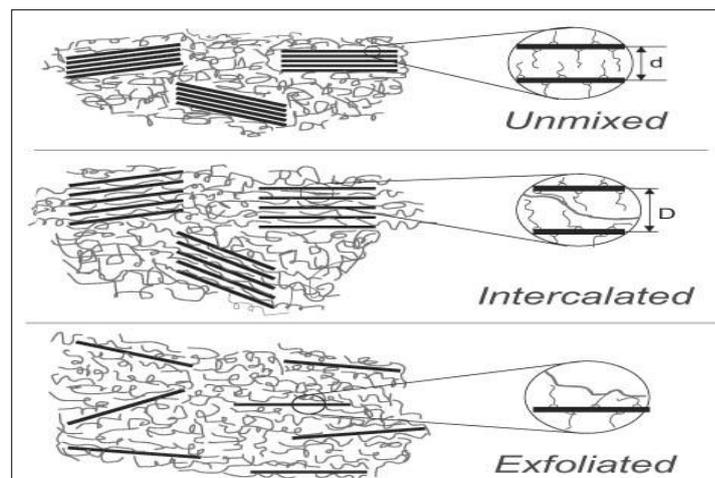


FIGURA 2.1 TIPOS BÁSICOS DE NANOCOMPUESTOS.[8]

En general, las propiedades físicas de las resinas epóxicas son incrementadas al añadir nanoarcillas a su estructura molecular.

La nanoarcilla es un material híbrido (orgánico e inorgánico) donde los cationes inorgánicos entre las capas de arcillas como Na^+ , Ca^{+2} , K^+ , etc., son reemplazados por cationes orgánicos como lo muestra la figura 2.2, lo que conlleva a un incremento entre las capas tetraédricas de silicio promovido por la penetración de modificaciones orgánicas entre las capas.[9]

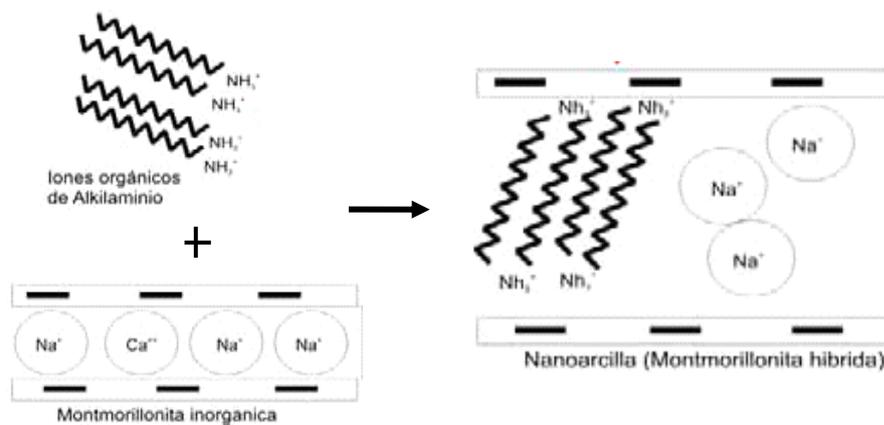


FIGURA 2.2 PROCESO DE INTERCAMBIO DE CATIONES INORGÁNICOS POR CATIONES ORGÁNICOS.[10]

2.1.1 Arcillas y Nanoarcillas.

Las nanoarcillas utilizadas en este informe de proyecto son las siguientes:

- Cloisite Na⁺
- Cloisite 20A
- Cloisite 30B
- Cloisite 93A

Cloisite Na⁺.- Esta arcilla (sódica), pertenece a la familia de las montmorillonitas, la cual es totalmente natural, su estructura se la observa en la figura 2.3. Comúnmente se comercializa como aditivo plástico para mejorar sus diversas propiedades físicas, tales como temperatura de deformación por calor, el coeficiente de dilatación térmica lineal expansión y propiedades de barrera.

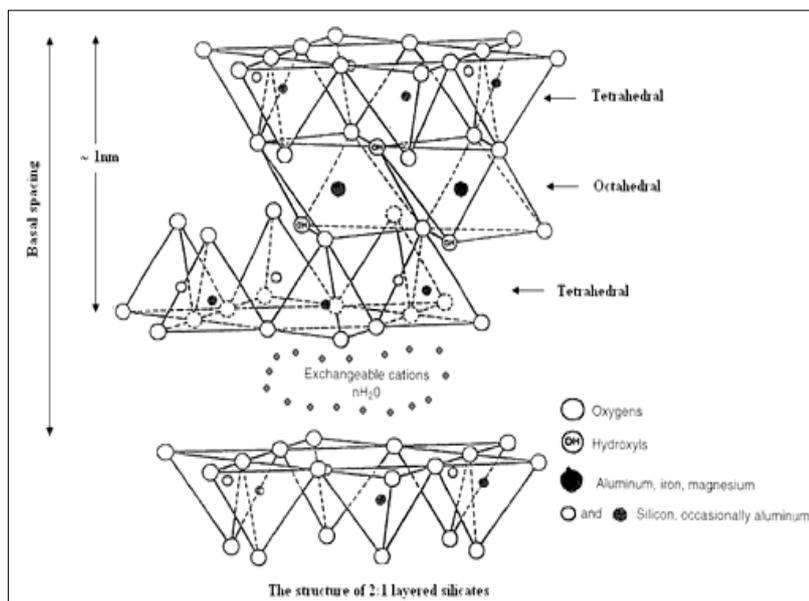


FIGURA 2.3 ESTRUCTURA DE LA NANOARCILLA Na⁺

La cloisite Na⁺, es un compuesto inorgánico e incompatible con agentes orgánicos por lo que requiere un proceso de transformación de arcilla sódica a organoarcilla (nanoarcilla) mediante tratamiento superficial con un surfactante.

Al mezclarse el surfactante con la arcilla sódica, se obtiene un intercambio catiónico y se produce la modificación en la arcilla orgánicamente.

La información de esta arcilla esta detallada en su ficha técnica.

Cloisite 20A.- La nanoarcilla Cloisite 20A, es una arcilla natural tipo montmorillonita, modificada con una sal de

amonio cuaternario (2M2HT, dimethyl, dihydrogenated tallow, quaternary ammonium). Dónde HT es Tallow hidrogenado y T es Tallow: ~65% C18, ~30% C16, ~%5 C14. Anión: cloruro.[11]

Su estructura química se puede observar en la figura 2.4

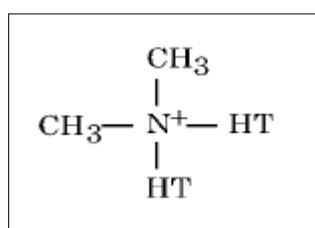


FIGURA 2.4 ESTRUCTURA QUÍMICA CLOISITE 20A

Esta arcilla es originalmente una arcilla sódica y modificada mediante tratamiento superficial con sal de alquilomonio.

Está conformada por placas de silicatos de aluminio y magnesio, laminadas y modificadas a escala nanométrica hasta obtener placas con un espesor de aprox. 1 nm. y dimensiones de 70 a 150 nm. de largo y ancho respectivamente.

Se la utiliza como aditivo en polímeros para mejorar varias propiedades físicas tales como HDT y barrera. [12]

Cloisite 30B.- Es una arcilla natural tipo montmorillonita, modificada con una sal de amonio cuaternario (2MT2EtOT, methyl, tallow, bis-2-hydroxyethyl, Amonio cuaternario). [11]

La arcilla en referencia, está conformada por placas de silicatos de aluminio y magnesio laminadas y modificadas a escala nanométrica, hasta obtener placas con un espesor de aprox. 1 nm. y dimensiones de 70 a 150 nm. en largo y ancho. Posee el mismo campo de aplicación que la C20A. [12] La estructura química de la arcilla se puede observar en la figura 2.5.

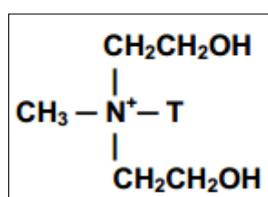


FIGURA 2.5 ESTRUCTURA QUÍMICA CLOISITE 30B

Cloisite 93A.- Esta arcilla es de origen natural, a la cual se la ha modificado con una sal de amonio ternario. Se la utiliza como aditivo plástico y su estructura química se detalla en la figura 2.6

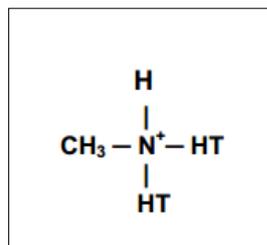


FIGURA 2.6 ESTRUCTURA QUÍMICA CLOISITE 93A

2.1.2 Agentes de Curado tipo Aminas y Resinas Epóxicas.

Para saber la importancia de las aminas en el presente proyecto de graduación, se comenzara diciendo que son compuestos con geometría piramidal derivadas de compuestos orgánicos del amoniaco (NH_3) y se los obtiene sustituyendo un hidrogeno de su composición y reemplazado con un grupo alquilo o arilo. Además que su clasificación depende del número de sustituyentes unidos al nitrógeno, siendo estas las aminas primarias (figura2.7), secundarias (figura 2.8) y terciarias (figura 2.9)

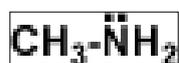


FIGURA 2.7 AMINA PRIMARIA

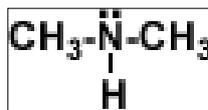


FIGURA 2.8 AMINA SECUNDARIA

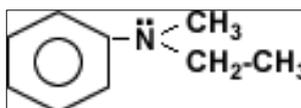
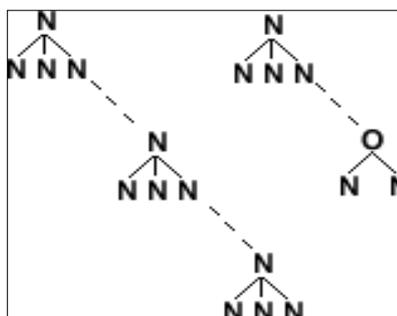


FIGURA 2.9 AMINA TERCIARIA

A continuación, se nombra algunas propiedades tanto físicas como químicas más importantes de las aminas:

Tanto las aminas primarias y secundarias son compuestos polares, los cuales pueden formar puentes de hidrógeno entre sí y con una molécula hidrofílica (que absorbe agua) esta unión permite que sean solubles entre sí. Esta solubilidad disminuye con moléculas con más de seis carbonos aromáticos ya que su composición es más densa.



**FIGURA 2.10 PUENTES DE HIDRÓGENO EN MOLÉCULAS
CON NITRÓGENOS**

El nitrógeno es menos electronegativo que el oxígeno, esto hace que los puentes de hidrógeno entre las aminas se den en menor grado que en los alcoholes, dichos puentes de hidrógeno pueden ser observados en la figura 2.10. Esto hace que el punto de ebullición de las aminas sea más bajo que el de los alcoholes del mismo peso molecular.

Los agentes curadores utilizados en este proyecto son:

- JEFFAMINE EDR-148
- JEFFAMINE EDR-176
- JEFFAMINE D-230
- JEFFAMINE T-403
- TETA Triethylenetetramine
- TEPA Tretrathylenepentamine

JEFFAMINE EDR-148.- Contiene una poliéter-amina, a base de trietilenglicol, con una masa molar promedio de 148.

La estructura química de esta amina se encuentra en la figura 2.11

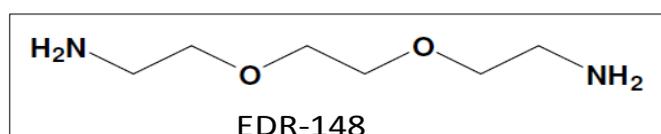


FIGURA 2.11 ESTRUCTURA QUÍMICA DE JEFFAMINE EDR-148

JEFFAMINE EDR-176.- Polieteramina, su peso molecular es relativamente bajo, reactivo de poliéterdiamina. Agente de curado epóxico que proporciona moderadamente curados rápidos, además las resinas curadas tienen buenas propiedades mecánicas y de impacto, además de una excelente resistencia al choque térmico. Podría ser utilizado en poliamidas para modificar la hidrofilia y mejorar las propiedades antiestáticas, etc. Este producto es más reactivo que la mayoría de las polieteraminas en la familia polieteramina JEFFAMINE. Posee baja viscosidad, y es una amina de alta pureza la cual puede añadir flexibilidad y la hidrofilia de poliamidas. [13]

La estructura química de esta amina se encuentra en la 2.12

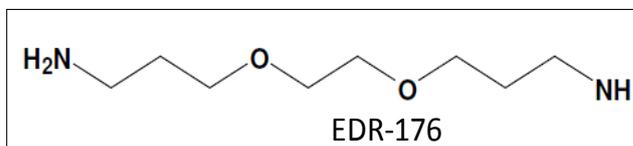


FIGURA 2.12 ESTRUCTURA QUÍMICA DE JEFFAMINE EDR-176

JEFFAMINE D-230.- Es una Diamina Polieter, con baja viscosidad, bajo color, la cual posee una moderada reactividad cuando pasa por la etapa de curado epóxico. Los radicales metil (CH_3) pendientes de la estructura produce un efecto que da a las resinas curadas una alta capacidad de elongación, buena dureza y alta resistencia térmica. [13]

La estructura química de esta amina se encuentra en la figura 2.13.

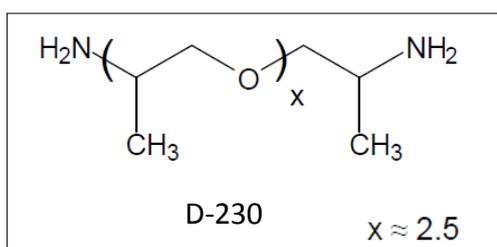


FIGURA 2.13 ESTRUCTURA QUÍMICA DE JEFFAMINE D-203

JEFFAMINE T-403.- Se caracteriza mediante la repetición de unidades de oxipropileno en la cadena principal. Como se muestra en su estructura, JEFFAMINE T-403 es una amina primaria trifuncional que tiene un peso molecular medio de aproximadamente 440. Sus grupos amina están situados en átomos de carbono secundarios en los extremos de las cadenas de poliéter alifático.

Esta amina puede ser almacenada en aire a temperatura ambiente durante períodos prolongados. Cabe señalar que la decoloración pronunciada es probable que ocurra a temperaturas superiores a 140°F (60°C). Para la limpieza de equipos que contienen JEFFAMINE T-403 polieteramina se puede lograr usando agua caliente y vapor. [13]

La estructura química de esta amina se encuentra en la figura 2.14.

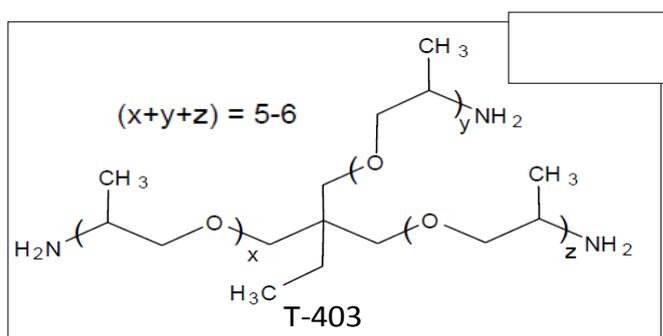
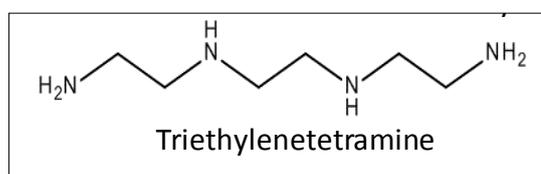


FIGURA 2.14 ESTRUCTURA QUÍMICA DE JEFFAMINE T-403

TETA Triethylenetetramine.- es una mezcla de cuatro compuestos de etilenoamina. También contiene cantidades menores de otras aminas como impurezas. A temperatura ambiente es un líquido aceitoso, de color amarillo con un olor a amoníaco. Es fácilmente soluble en agua y en disolventes orgánicos.

Se utiliza en los aditivos de asfalto, inhibidores de corrosión, agentes de curado epoxi, suavizantes de tejidos, aditivos de combustible, procesos de purificación de hidrocarburos, resinas de intercambio iónico, aditivos de aceite de lubricación, ayudas de procesamiento de minerales, resinas de resistencia en húmedo de papel, aceite de campo-productos químicos, resinas de poliamida, y tensioactivos.

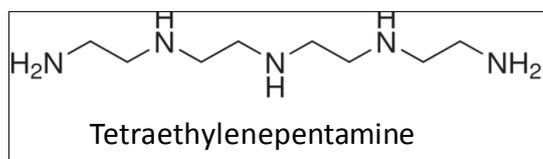
La estructura química de esta amina se encuentra en la figura 2.15.



**FIGURA 2.15 ESTRUCTURA QUÍMICA DE TETA
TRIETHYLENETETRAMINE**

TEPA Tretrathylenepentamine.- Se utiliza comúnmente en la fabricación de aceites lubricantes y aditivos de combustible, inhibidores de la corrosión, aditivos de asfalto y agentes de curado epoxi. Las aplicaciones adicionales incluyen la purificación de hidrocarburos, mineral coadyuvantes de elaboración, resinas de poliamida, agentes tensioactivos, aditivos y textiles.

La estructura química de esta amina se encuentra en la figura 2.16



**FIGURA 2.16 ESTRUCTURA QUÍMICA DE TEPA
TRETRATHYLENEPENTAMINE**

Resinas Epóxicas.

Las resinas epóxicas, son monómeros que poseen dos o más grupos de epoxi por molécula. Los grupos epoxi contienen un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono adyacentes como se muestra en la figura 2.17. [14,15]

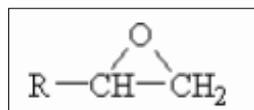


Fig.2.17 ESTRUCTURA DEL GRUPO OXIRANO.

Las resinas epóxicas mejoran las propiedades tales como: resistencia mecánica, tenacidad, mejora las propiedades adhesivas, eléctricas y resistencia química, si es curada con el agente apropiado.

La resina epóxica, es obtenida de la reacción química entre la epiclorhidrina y un compuesto polihidroxilado, que usualmente es el Bisfenol A, esta reacción puede ser observada en la figura 2.18. [16]

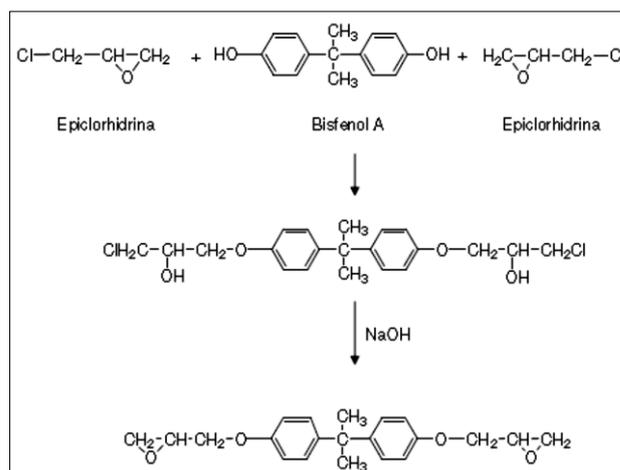
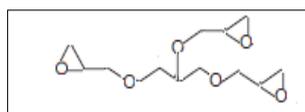
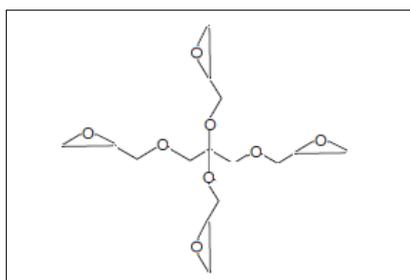


FIGURA 2.18 REACCIÓN ENTRE EL BISFENOL A Y LA EPICLORHIDRINA PARA FORMAR UNA RESINA EPÓXICA [16].

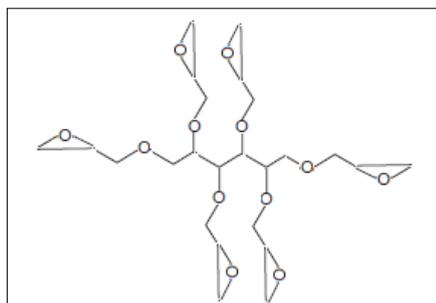
En la realización de ésta investigación, se utilizó las resinas epóxicas (sin aromáticos): ERISYS GE-38 (figura 2.19), ERISYS GE-40 (figura 2.20), ERISYS GE-60 (figura 2.21), las cuales pertenecen al grupo alifático de resinas epoxi multifuncional, que proporcionan una mayor densidad de reticulación, con el objetivo de mejorar las propiedades de resistencia térmica y química, ya que estas resinas reaccionan formando nuevos enlaces con las arcillas e inhibidor.



**FIGURA 2.19 ESTRUCTURA QUÍMICA RESINA GE-38,
POLYGLYCEROL-3-POLYGLYCIDYL ETHER.**



**FIGURA 2.20 ESTRUCTURA QUÍMICA RESINA GE-40,
PENTAERYTHRITOL POLYGLYCIDYL ETHER.**



**FIGURA 2.21 ESTRUCTURA QUÍMICA RESINA GE-60,
SORBITOL GLYCIDYL ETHER.**

2.1.3 Inhibidores Volátiles de Corrosión

Son sustancias capaces de reducir o eliminar la reacción corrosiva formando películas protectoras sobre la superficie del metal.

Los inhibidores de corrosión, también conocidos como agentes activos de superficie, contienen al menos un grupo de cabeza hidrofílico y un grupo de cola hidrofóbico [17].

La polimerización se paraliza totalmente hasta que el inhibidor de corrosión sea consumido en su totalidad, luego la polimerización continúa a igual velocidad que en ausencia del inhibidor [18].

La acción de estos inhibidores de corrosión es similar a la de un surfactante, existen tres tipos de surfactante [14]:

- Surfactante anódico.- moléculas con carga negativa en los grupos de cabeza.

- Surfactante catiónico.- moléculas con carga positiva en los grupos de cabeza.
- Surfactante mixto.- moléculas que contienen grupos de cabeza con ambas cargas; grupo positivo (amina) y grupo negativo (carboxilato).

Carboxilato de Amino (RM-210).- Molécula mixta, puesto que posee cabezales con cargas positivas y negativas, es decir que, posee un grupo amino y carboxilato.

Las aminas suministran protección catódica, formando una barrera e impidiendo la formación de H₂ en ambientes ácidos. El Carboxilato de Amino es un inhibidor de corrosión orgánico, utilizado en desengrasantes, pinturas, limpiadores de metales y fundas plásticas [14], estos inhibidores tienen una química similar a la que se describe en la figura 2.22

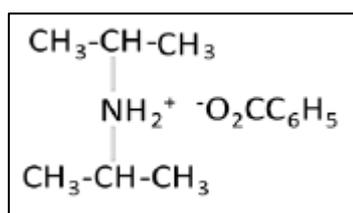


FIGURA 2.22 ESTRUCTURA MOLECULAR DE UN TIPO CARBOXILATO DE AMINO [14].

2.2 Caracterización de los Nanocompuestos de Epóxicos y Arcillas

La caracterización de las muestras, mediante varias técnicas disponibles como lo son Espectrometría de Rayos Infrarrojos, Termogravimetría y Análisis de Asentamiento forman parte de la preparación de las muestras, con los cuales se obtiene una visión cualitativa y cuantitativa de su comportamiento.

Uno de los objetivos en este proyecto es la caracterización de las muestras realizadas y encontrar un sistema óptimo a nivel molecular de la arcilla en una matriz epóxica.

2.2.1 Espectrometría de Rayos Infrarrojos

Espectrometría de Rayos Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR), es la técnica que permite obtener espectros en la pantalla de un computador para un rango deseado y analizar el comportamiento de las mezclas realizadas en este proyecto. El rango de trabajo para el Near-IR, fue de 7500 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} en donde se pudo observar y analizar el comportamiento de las aminas y los epóxicos; para el Mid-IR, fue de 4000 cm^{-1} a 650 cm^{-1} .

Se preparó las muestras previamente antes de ser dispuestas en el Equipo de análisis de infrarrojos, figura 2.23.

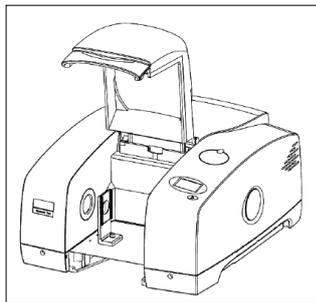


FIGURA 2.23 ESPECTRÓMETRO

2.2.2 Termogravimetría

Termogravimetría, es la técnica que mide el cambio en la masa de una muestra mientras se somete a un cambio de temperatura controlada en una atmósfera específica.

Generalmente, la muestra es calentada a una velocidad constante, en este caso se tendrá una medición dinámica, mientras que si la muestra se mantiene a una temperatura constante se tendrá una medición isotérmica.

La atmósfera que se puede utilizar en esta técnica tiene un papel fundamental dentro del ensayo, pudiendo ser reactiva, oxidativa o inerte.

En la realización de este proyecto, se utilizó una atmósfera inerte; el esquema se muestra en la figura 2.24.

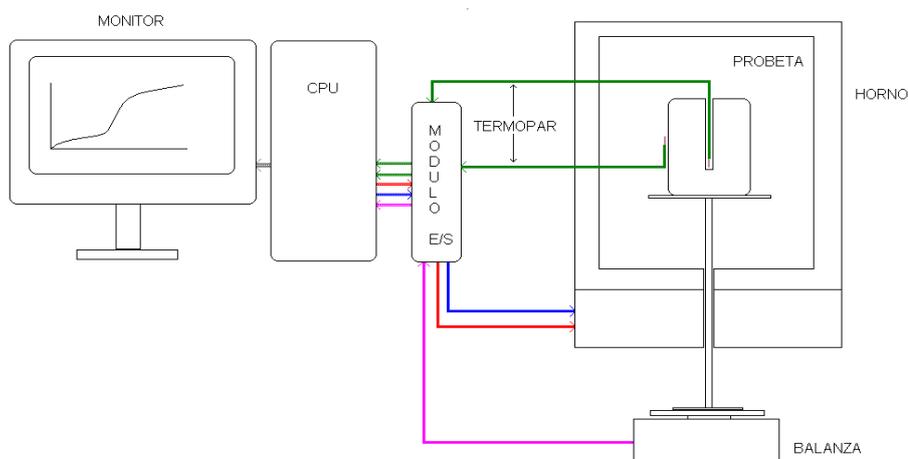


FIGURA 2.24 ESQUEMA TERMOGRAVIMETRÍA [19]

2.2.3 Análisis de Asentamiento

Esta técnica sirvió para hallar la caracterización de la muestra o la tendencia de la misma, ya sea en un medio resino-arcilla o a su vez amino-arcilla mediante el asentamiento de la arcilla en estos distintos medios; este proyecto consistió en dos fases:

- Asentamiento en un medio Resino epóxico-arcilla.
- Asentamiento en un medio amino-arcilla.

Asentamiento en un medio Resino Epóxico-Arcilla.- Se analizó el comportamiento de la arcilla dentro de un medio epóxico y se colocó dentro de tubos de plástico luego de ser mezclados, se los colocó en una máquina centrifugadora a

3000 RPM durante 15 minutos y con los datos obtenidos, se realizó el análisis de relación de diámetros aplicando la ley de Stokes: de esta ley se determinó los diámetros hidrodinámicos.

Diámetro Hidrodinámico.

El diámetro hidrodinámico para cada mezcla, se obtuvo según la ecuación de Stokes, para obtener una relación entre sistemas.

$$V_t = \frac{X_t}{T} = \frac{g \phi_{clay}^2 (\rho_{clay} - \rho_{medio})}{18 \mu_{medio}}$$

Dónde:

V_t : Velocidad de asentamiento de la partícula en un fluido (m/s).

X_t : Distancia de asentamiento (m).

T: Tiempo de asentamiento a una distancia X_t (s.).

g: Gravedad (m/s^2).

ϕ_{clay} : Diámetro hidrodinámico de la arcilla (m).

ρ_{clay} : Densidad de la arcilla (gr/cm^3).

ρ_{medio} : Densidad del medio ya sea resina o amina (gr/cm^3).

μ_{medio} : Viscosidad del medio ya sea resina o amina ($Pa*s$), (Cst) respectivamente.

La distancia de asentamiento volumétrica X_t es de 2 ml y es igual para todos.

Para determinar la relación de diámetros, se consideró los siguientes sistemas: misma resina o amina y diferente arcilla, misma arcilla diferente resina o amina y diferentes arcillas-diferentes resinas o aminas.

Despejando e igualando ecuaciones, se determinó la siguiente relación de diámetros hidrodinámicos:

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \sqrt{\frac{(\rho_{2arcilla} - \rho_{resina}) * t_{2asent}}{(\rho_{1arcilla} - \rho_{resina}) * t_{1asent}}}$$

Velocidad de Asentamiento.

La velocidad de asentamiento, es producto de la fuerza de arrastre ejercida por el fluido sobre la partícula y se la calculó usando la fórmula:

$$V_t = \frac{X_t}{T}$$

Dónde:

V_t : Velocidad de asentamiento de la partícula en un fluido.

X_t : Distancia de asentamiento (cm).

T: Tiempo de asentamiento a una distancia X_t (min).

La distancia de asentamiento lineal, se la midió con regla directamente del envase 2ml≈1.25cm.

Fuerza de Arrastre o Fricción.

La Fuerza de fricción o arrastre, es la fuerza que el fluido ejerce sobre la partícula (arcilla) y se calculó usando la fórmula:

$$F_d = 3\pi \mu_{resina} \varnothing_{clay} \frac{X_t}{T}$$

Dónde:

F_d : Fuerza de arrastre (N).

X_t : Distancia de asentamiento (m).

T : Tiempo de asentamiento a una distancia X_t (seg).

μ_{medio} : Viscosidad del medio ya sea resina o amina (Pa*s), (Cst) respectivamente.

\varnothing_{clay} : Diámetro de la Arcilla (m).

Las viscosidades de las Aminas vienen dada en Centi Stokes (cst) para lo cual se utilizó la siguiente fórmula, para obtener la viscosidad en Pa*s:

$$v = \mu / \rho.$$

Dónde:

ν : viscosidad cinemática en cst.

μ : viscosidad dinámica en Pa*s.

ρ : densidad del fluido en Kg/m³.

Asentamiento en un medio Amino-Arcilla.- Se analiza el comportamiento de la arcilla dentro de un medio amino y se lo mezcla, luego se lo ingresa a la máquina centrifugadora a 3000 RPM en períodos de 15 minutos, se registran los resultados observados.

Al realizar la acción de mezclado y consecuentemente llevado a la máquina centrifugadora se notó que esta configuración amino-arcilla tenía una tendencia al asentamiento inmediato como se muestra en la figura 2.25, por lo que se determinó realizar el asentamiento sometidas solamente a gravedad.



FIGURA 2.25 PRUEBA DE ASENTAMIENTO

CAPÍTULO 3

3. EXPERIMENTACIÓN

3.1 Materiales, Equipos y Accesorios

En esta sección, se nombrará y realizará una breve descripción de los materiales, equipos y accesorios usados en este proyecto.

Los materiales usados durante la ejecución del proyecto fueron los siguientes:

Cloisite[®] Na^+ , es una arcilla de origen natural, tipo montmorillonita, la cual sirve como aditivo plástico.



FIGURA 3.1 CLOISITE[®] Na^+

Cloisite[®] 20A, es una arcilla natural tipo montmorillonita, tratada con un modificador orgánico, sal de amonio cuaternaria.



FIGURA 3.2 CLOISITE[®] 20^a

Cloisite[®] 30B, es una arcilla natural tipo montmorillonita, modificada con una Sal de Amonio Cuaternario.



FIGURA 3.3 CLOISITE[®] 30B

Cloisite[®] 93A, esta arcilla es de origen natural, a la cual se la ha modificado con una sal de amonio ternario.



FIGURA 3.4 CLOISITE[®] 93A

Jeffamine EDR-148, la masa polar promedio de esta amina es de 148, funciona como un agente curador.



FIGURA 3.5 JEFFAMINE EDR-148

Jeffamine EDR-176, posee una tasa de curado rápido, y posee un peso molecular relativamente bajo.

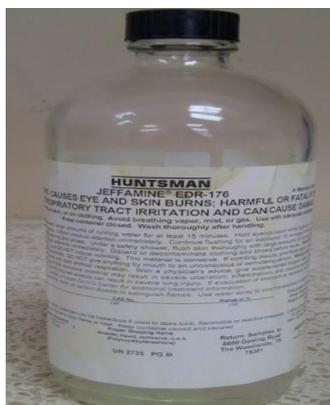


FIGURA 3.6 JEFFAMINE EDR-176

Jeffamine D-230, esta amina es una diamina, posee una baja viscosidad, también posee una baja reactividad cuando pasa por etapa de curado epóxico.



FIGURA 3.7 JEFFAMINE D-230

Jeffamine T-403, por su primera letra se puede conocer que se trata de un triamina, se caracteriza por la repetición de oxipropileno en su estructura.

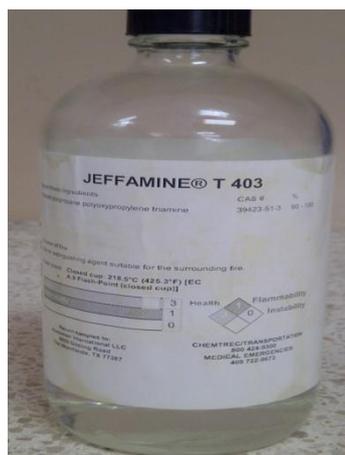


FIGURA 3.8 JEFFAMINE T-403

TETA Triethylenetetramine, esta amina cuando se encuentra a temperatura ambiente es un líquido aceitoso, de color amarillo con un olor a amoníaco.



FIGURA 3.9 TETA TRIETHYLENETETRAMINE

TEPA *Tetraethylenepentamine*, esta amina, se utiliza comúnmente en la fabricación de aceites lubricantes y aditivos de combustible.

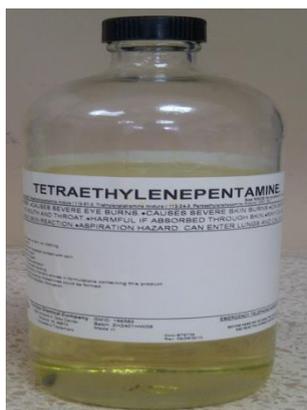


FIGURA 3.10 TEPA TRETRATHYLENEPENTAMINE

Resina Epóxica G-38, poliglicerol epoxidado, tiene una viscosidad media, triepóxido alifático. Es compatible con las resinas epoxi, se puede curar usando cualquier agente de curado de resina epoxi.

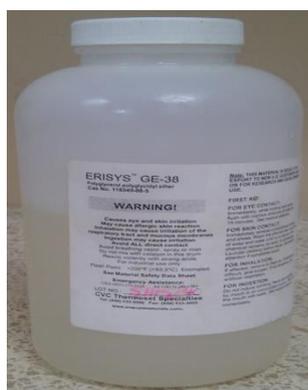


FIGURA 3.11 RESINA EPÓXICA GE-38

Resina Epóxica G-40, epoxidado de pentaeritritol, es una viscosidad media, tetraepóxido alifático, posee una apariencia clara, compatible con cualquier resina epoxi.



FIGURA 3.12 RESINA EPÓXICA GE-40

Resina Epóxica GE-60, epoxidado sorbitol, es una resina epoxi multifuncional alifática. Esta resina impartirá mayor reactividad como densidad de reticulación de las formulaciones de resina epoxi.



FIGURA 3.13 RESINA EPÓXICA GE-60

Carboxilato de amina (RM-210), es un inhibidor de corrosión orgánico, de aspecto sólido cristalino el cual es un surfactante tipo mixto, ya que posee un grupo carboxilo y un grupo amino.



FIGURA 3.14 CARBOXILATO DE AMINO (RM-210)

Entre los equipos utilizados en este proyecto se tiene los siguientes:

- Balanza Analítica Electrónica LabNics 100A:



**FIGURA 3.15 BALANZA ANALÍTICA ELECTRÓNICA
LABNICS 100A**

Especificaciones técnicas del equipo:

Capacidad de muestra: 205g

Resolución: 0.0001g.

- Higrómetro (Elicrom)



FIGURA 3.16 HIGRÓMETRO (ELICROM)

Especificaciones técnicas del equipo:

Resolución de humedad (%): 0.1

Resolución de temperatura (°C): 0.1

- Equipo Centrifugador (Ample Scientific L.L.C.)



**FIGURA 3.17 EQUIPO CENTRIFUGADOR (AMPLE
SCIENTIFIC L.L.C.)**

Especificaciones técnicas del equipo:

Modelo: F33D-1

Velocidad Máxima: $3300 \pm 5\%$ (rpm)

Rango de Tiempo: 0-30 minutos

Nivel de Ruido: <70 db(A)

- Equipo Speed Mixer(DAC 400.1 FVZ)



FIGURA 3.18 EQUIPO SPEED MIXER (DAC 400.1 FVZ)

Especificaciones técnicas del equipo:

Revolución Máxima: 2750 rpm

Voltaje: 230V

Frecuencia: 50/60 Hz

- Espectrómetro de Rayos Infrarrojos



FIGURA 3.19 ESPECTRÓMETRO DE RAYOS INFRARROJOS

Especificaciones técnicas del equipo:

Humedad Relativa: 75% máximo (sin condensación)

Temperatura: 15°C - 30°C

Rango de Voltaje: 110V - 230V

Rango de trabajo Near-IR: 7500cm⁻¹ a 4000cm⁻¹

Rango de trabajo Mid-IR: 4000cm⁻¹ a 650 cm⁻¹

- Analizador Termogravimétrico SDT Q600.



**FIGURA 3.20 ANALIZADOR TERMOGRAVIMÉTRICO SDT
Q600.**

Especificaciones técnicas del equipo:

Sensibilidad de la balanza interna: 0.1 μg .

Rango de temperatura: desde temperatura ambiente hasta 1500°C.

Capacidad de la muestra: 200 mg.

Resolución DTA: 0.001°C.

Porta muestra: Hecho de Alúmina 40 μL /90 μL

- Horno Universal Memmert UNE 550



FIGURA 3.21 HORNO UNIVERSAL MEMMERT UNE 550

Especificaciones técnicas:

Interior: Acero inoxidable

Rango de temperatura (°C): 30 hasta 250

Dimensiones, w x h x d: 630 x 920 x 650 mm

A continuación se menciona los accesorios utilizados durante este proyecto:

- Vidrio Reloj y Pinzas



FIGURA 3.22 VIDRIO RELOJ Y PINZAS.

- *Mechero Bunsen*, es un tipo de encendedor que se utiliza en los laboratorios científicos para calentar, fundir, esterilizar y/o evaporar sustancias.



FIGURA 3.23 MECHERO BUNSEN

- Espátula de acero inoxidable.



FIGURA 3.24 ESPÁTULA DE ACERO INOXIDABLE.

- Guantes.



FIGURA 3.25 GUANTES

- Pipetas plásticas.



FIGURA 3.26 PIPETAS PLÁSTICAS.

- Acetona.



FIGURA 3.27 ACETONA

- Jeringa.



FIGURA 3.28 JERINGA

- Tubos para centrifugadora de 15 ml.

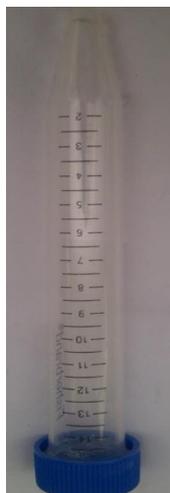


FIGURA 3.29 TUBOS PARA CENTRIFUGADORA DE 15 ML.

- Envases Plásticos



FIGURA 3.30 ENVASES PLÁSTICOS

- Toalla absorbente
- Cortador de Vidrio
- Agitador de Vidrio
- Hisopos
- Marcador
- Cinta Adhesiva
- Fósforos

3.2 Preparación De Las Muestras

En el instante que se obtuvo todos los materiales, equipos y accesorios, se procedió a la preparación de las muestras para cada uno de los ensayos a realizarse:

- Ensayo de Asentamiento (Prueba 1 y Prueba 2)
- Ensayo Termogravimétrico (TGA)
- Ensayo de Rayos Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR)

Preparación de muestra para el Ensayo de Asentamiento

Prueba 1

A continuación, se describe para el ensayo de Asentamiento la siguiente preparación de muestra sin tratamiento térmico, la cual se dividió en dos partes (aminas y epóxicos):

Aminas

Inicialmente se niveló y enceró la balanza, luego se pesó cantidades fijas de 20gr. de amina (Jeffamine EDR-148, Jeffamine EDR-176, Jeffamine D-230, Jeffamine T-403, Triethylenetetramine (TETA), Tetraethylenepentamine (TEPA)) dentro de los envases de plástico en la balanza analítica electrónica LabNics 100A; en donde este fue el 100% del peso total, luego se añadió un 5% de arcilla (Cloisite Na⁺, Cloisite 20A, Cloisite 30B, Cloisite 93A) del peso total, y en caso de tener inhibidor(RM-210) se añadió el 1% del peso de total.

Para este caso, se obtuvo las siguientes combinaciones:

Cada arcilla se mezcló con una amina distinta y luego se realizó nuevas mezclas añadiendo el inhibidor de corrosión lo que dió como resultado la obtención de 48 mezclas.

Epóxicos

Se pesó cantidades fijas de 20gr. de resinas epóxicas (GE-38, GE-40, GE-60) en los envases plásticos, con lo cual se tuvo un 100% de peso de las mismas, luego se añadió 5% de arcilla ya sea (Cloisite Na⁺, Cloisite 20A, Cloisite 30B, Cloisite 93A) y en caso de tener inhibidor (RM-210) se añadió el 1% del peso total.

Para este caso se obtuvo las siguientes combinaciones:

Cada arcilla se mezcló con un epóxico distinto y luego se realizó nuevas mezclas, añadiendo el inhibidor de corrosión lo que dio como resultado la obtención de 24 mezclas.

Prueba 2

Aminas

Para esta prueba, se realizó los mismos pasos que en la Prueba 1 para la preparación de la muestra, con la diferencia que la arcilla tuvo un tratamiento térmico previo a la mezcla, en donde se omitió la adhesión del inhibidor de corrosión. Para esta prueba el total de mezclas fue de 24.

Epóxicos

Se niveló y enceró la balanza antes de empezar a tomar medidas del peso. Previamente en dos envases diferentes se mezcló cantidades fijas de la arcilla 93A más inhibidor de corrosión RM-210 y una de estas mezclas se la trató térmicamente en el horno a 70°C por un día y la otra permaneció a temperatura ambiente. También se usó la arcilla 30B tratada térmicamente. Se agregó resina en cantidades fijas de 17 gr en los envases plásticos, añadiéndose 6% de la mezcla entre el inhibidor de corrosión y la arcilla 93A. El número de mezclas fue de 18, en donde 6 se realizaron sin tratamiento térmico, 6 con tratamiento térmico de

horno para la arcilla 93A y 6 con tratamiento de horno para la arcilla 30B. Cabe recalcar que se omitió la arcilla Na^+ para medir el asentamiento de las resinas epóxicas.

Entonces para estas pruebas de asentamiento se realizaron 114 mezclas.

Preparación de muestra para el Ensayo Termogravimétrico

Se escogió las 18 mezclas de los epóxicos realizadas de la prueba 2 de asentamiento para hacer el seguimiento para el ensayo Termogravimétrico, en donde la cantidad tomada para este ensayo fue muy pequeña.

Preparación de muestra para el ensayo de Espectrometría de Rayos Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR)

Se utilizó las 114 mezclas anteriormente realizadas para hallar la caracterización de las mismas.

También se realizó 24 muestras para la etapa de curado con el siguiente procedimiento:

Se pesó una cantidad fija de resina epóxica GE-60 de 15 gr, se añadió el 6% de la mezcla entre el inhibidor de corrosión y las arcillas (93A y 30B) las cuales previamente se las trató térmicamente, luego se colocó esta mezcla en el equipo

mezclador por 15 segundos para que se homogenice completamente, luego se añadió el agente curador que en este caso son las aminas y se utilizó el agitador de vidrio para mezclar, luego se vierte esta mezcla en un porta muestra que fue previamente configurado.

Adicionalmente, se realizaron 6 mezclas entre GE-60 y las aminas para obtener una base comparativa para los resultados obtenidos.

3.3 Caracterización y Ensayos

En esta sección, se realiza la caracterización y descripción de los pasos a seguir de los ensayos utilizados los cuales se nombraron en la sección 3.2

Ensayo de Asentamiento

Al realizar pruebas de asentamiento, se pudo observar la compatibilidad de las mezclas realizadas, es decir entre resinas-arcillas y aminas-arcillas con y sin inhibidor de corrosión para ambas mezclas, además de establecer un patrón de relación entre arcillas llamado diámetro hidrodinámico, bajo este precepto

se pudo calcular la velocidad de Asentamiento y fuerza de fricción para cada una de las mezclas establecidas.

Procedimiento

Se realizó las mezclas, utilizando envases de plásticos siguiendo el procedimiento de preparación de las muestras descrito en la sección 3.2

Luego se homogenizó las mezclas en el Speed Mixer a 5 minutos y 2500 rpm para las mezclas con resinas epóxicas, debido a que éstas son muy viscosas (con y sin inhibidor). En el caso de las mezclas con Aminas Alifáticas, ya que éstas no son muy viscosas en comparación con las resinas, se las mezcló a 3 minutos y a 2200 rpm.

Se colocó dicha mezcla en los tubos para centrifugadora, usando solamente 10 ml de la mezcla total para ambos casos (aminas alifáticas y resinas epóxicas).

Se encendió el equipo centrifugador pulsando el botón de encendido que se encuentra en la parte posterior del mismo.

Inicialmente, se realizó la prueba de asentamiento utilizando el equipo centrifugador cuyos parámetros fueron 3000 rpm y 15 minutos, tiempo en el cual se registró los asentamientos de cada mezcla con resina y amina.

Para las mezclas con aminas alifáticas, se realizó el ensayo bajo la misma metodología pero a los primeros 15 minutos en las mezclas se observó que estas se encontraban totalmente asentadas; por lo tanto se realizó para este tipo de mezclas, asentamiento sometido a gravedad solamente.



GURA 3.31 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE ASENTAMIENTO

Ensayo Termogravimétrico (TGA)

Se realizó el ensayo del TGA, para observar la degradación de los compuestos basándose en la pérdida de peso con relación a la temperatura, esto permitió observar si las mezclas alcanzaban o no el proceso de exfoliación o intercalación buscando mejorar sus propiedades de barrera. Además de observar la relación

entre la derivada del peso con respecto a la temperatura, lo cual sirvió para determinar la temperatura máxima en el proceso de degradación.

Procedimiento Experimental Termogravimétrico (TGA)

Para este procedimiento, se tomó en cuenta las recomendaciones para la preparación idónea de la muestra:

Con relación a los crisoles (referencia y muestra) deben ser limpiados y esterilizados, el crisol de referencia en el analizador es aquel crisol que no ha sido contaminado con ningún tipo de sustancia y que sirve de comparación entre los pesos de los crisoles; alcohol industrial o etanol fueron utilizados para la esterilización a través de un mechero Bunsen para eliminar los residuos de agua u orgánicos.

La muestra que se utilizó para el ensayo fue tomada de la misma muestra preparada en la prueba 2 de asentamiento, pero para asegurar la homogeneidad del compuesto se procedió a mezclarlo en el Speed Mixer durante 1 minuto a 2150 rpm.

Para la muestra, se tomó en cuenta la estandarización del peso (8 a 10 mg) a colocar en el crisol, se procedió a extraer la muestra del envase de plástico con la ayuda de una pipeta de plástico.

Para la obtención de la cantidad exacta de la muestra, se utilizó un vidrio reloj en el cual se depositó el crisol de muestra, se pesó estos dos elementos en la balanza analítica electrónica, a la cual previamente se la encendió para posteriormente depositar la muestra, con esto se aseguró que el peso que marque la balanza sea estrictamente la del compuesto analizado.

Se encendió el analizador Termogravimétrico SDT Q600 TGA y el ordenador que sirvió para el almacenamiento y análisis de las gráficas. Se vinculan los dos equipos para poder controlar y observar los resultados.

Se ejecuta el programa TA Universal Analysis y se procedió a abrir la compuerta del analizador, en donde se colocó los crisoles (referencia y muestra). Se cerró la compuerta del Analizador

Se encendió los datos en el programa para la correcta medición de la pérdida de peso con relación a la temperatura.

Se colocó los parámetros como: la temperatura a la que tiene que llegar la muestra (600°C), además de la colocación del aumento de la temperatura con respecto al tiempo de 10°C/ min.

Se utilizó la opción CUSTOM dentro del programa que sirve para correr las especificaciones ya grabadas previo a la realización de

la prueba. Se procede a la apertura de la válvula de nitrógeno para obtener una atmósfera inerte (50ml/min).

Se presiona “play” en el programa para empezar el Análisis Gravimétrico TGA. El tiempo establecido en el analizador para el ensayo es de 63 minutos, se esperó un tiempo prudencial para sacar la muestra debido a que el cambio de temperatura puede dañar los brazos de la balanza o trizar los crisoles.

Se abrió la compuerta del analizador Termogravimétrico SDT Q600 TGA a los 45°C y se colocó la muestra cuidadosamente, evitando el movimiento en los brazos de la balanza del analizador.

Se retiró el crisol de la muestra y se lo limpió con etanol para asegurar que el crisol este limpio por la parte de adentro, para esto se utilizó un hisopo.

Al concluir con la limpieza del crisol con etanol y usando un Mechero Bunsen se calentó el crisol asegurando la eliminación de algún residuo orgánico que haya quedado en el crisol y se empezó con la preparación de la siguiente muestra para el próximo ensayo.



**FIGURA 3.32 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO
TERMOGRAVIMÉTRICO**

Ensayo de Rayos Infrarrojos.

Se realizó el ensayo de Rayos Infrarrojos para caracterizar de forma cuantitativa y cualitativa las mezclas realizadas, según los picos que se muestran en las gráficas Absorbancia vs. Número de Ondas, en donde cada pico permite conocer un compuesto específico en una zona determinada, también se pudo comparar mediante este ensayo el efecto de adicionar arcilla e inhibidor de corrosión a las mezclas, el cual se basó en la caracterización pura de cada una de ellas.

Procedimiento Experimental de Ensayo Rayos Infrarrojos.

Este procedimiento se dividió en 2 partes, la primera parte es la caracterización de las 114 muestras realizadas en la parte de asentamiento y la segunda parte es la caracterización de las mezclas, cuando son sometidas a un proceso de curado.

Para la primera parte se procedió a llevar las muestras al Laboratorio de Reología de LEMAT, en donde se encuentra el Equipo de Rayos Infrarrojos. Se verificó que la humedad del lugar sea baja mediante el higrómetro para empezar a realizar el ensayo.

Para mantener la humedad baja del sitio, se encendió el deshumidificador con lo que se garantiza que la toma de datos no tendrá perturbaciones debido a humedad. Se procede a encender el computador, el cual está conectado directamente con el equipo de rayos infrarrojos para tener la adquisición de datos del ensayo. Se procedió a abrir la tapa del equipo y colocar la base para la colocación de la muestra; en primera instancia se coloca un porta muestras vacío, para tomar la línea de referencia o BACKGROUND.

Se colocó la muestra sobre la base establecida. Se ejecuta el programa SPECTRUM y se configura los parámetros para el escaneo de la muestra, para el caso del Near-IR, los cuales fueron: rango de 7500 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} en el eje de las abscisas y Absorbancia en el eje de las ordenadas, el número de escaneos es de 8 por muestra. Se debe abrir la válvula de paso del nitrógeno para crear una atmósfera inerte en el interior de la cámara del equipo. Luego se presiona SCAN y el equipo procede a analizar y obtener la gráfica respectiva de la muestra. Una vez terminado el análisis, se procede a cerrar la válvula de nitrógeno y a retirar la muestra del equipo.

En el caso de Mid-IR, se colocó la muestra base sobre el ATR de manera que quede homogénea y se configuró los parámetros en el rango de 4000 cm^{-1} a 650 cm^{-1} . Luego se procedió a iniciar el programa para el análisis, una vez finalizado el análisis se debe limpiar el ATR asegurándose que no quede ningún residuo de la muestra.



FIGURA 3.33 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE RAYOS INFRARROJOS

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Ensayos

Ensayo de Asentamiento

El Ensayo de Asentamiento es totalmente práctico, con el cual se tiene la percepción visual de la compatibilidad entre las diferentes mezclas mediante la duración de la suspensión de la arcilla dentro de los epóxicos o de las aminas, y así poder determinar de una forma rápida de que mezclas son las más idóneas o más compatibles que se pueden obtener para realizar los demás ensayos.

Se realizó las pruebas de asentamiento utilizando el equipo centrifugador cuyos parámetros fueron 3000 rpm y 15 minutos tiempo en el cual se registraron los asentamientos de cada mezcla con resina y amina, además se utilizó arcillas no tratadas obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA 1
ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS EN RESINA GE-60 CON
EQUIPO CENTRIFUGADOR

GE-60							
20A		30B		93A		Na	
Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)
0	0	0	0	0	0	0	0
15	0,1	15	0	15	0	15	1
30	0,2	30	0	30	0,1	17	2
45	0,5	45	0,1	45	0,2	30	7
60	1,2	60	0,5	60	0,6	60	7
77	2	116	2	113	2		

TABLA 2
ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS EN RESINA GE-38 CON
EQUIPO CENTRIFUGADOR

GE-38							
20A		30B		93A		Na	
Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)
0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	9	2	4	2	4	2
15	8	15	3,5	15	9	15	9

TABLA 3
ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS EN RESINA GE-40 CON
EQUIPO CENTRIFUGADOR

GE-40							
20A		30B		93A		Na	
Tiempo (min)	Distancia (ml)						
0	0	0	0	0	0	0	0
15	2	45	2	30	2	10	2
15	4,5	15	2,7	15	3,1	15	6,5

AMINAS ALIFÁTICAS

TABLA 4
ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS T.T EN AMINA EDR-176

EDR-176							
20A		30B		93A		Na	
Tiempo (min)	Distancia (ml)						
0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,5	20	0	20	0,5	2	2
33	0,8	33	0	33	0,6	1300	8,5
47	1	47	0	47	0,8		
80	1,5	80	0	80	1,3		
95	1,9	95	0	95	1,4		
107	2	107	0	107	1,5		
		137	0	137	2		
		230	0,3	230	2,2		
		1300	2	1300	3,6		

El análisis realizado se basó en el tiempo que tardó la arcilla en asentarse en la Amina una distancia de 2 ml, de acuerdo a la Tabla 4 se puede observar que la mayor compatibilidad entre la amina y

arcilla se dio con la C30B, ya que el tiempo de asentamiento para la distancia establecida fue de 1300 minutos, mientras que la arcilla menos compatible fue CNa^+ cuyo tiempo de asentamiento fue de 2 minutos.

La arcilla C20A y C93A tuvieron un comportamiento casi similar al principio pero al final el tiempo de asentamiento de la C20A fue menor.

TABLA 5
ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS T.T EN AMINA T-403

T-403							
20A		30B		93A		Na	
Tiempo (min)	Distancia (ml)						
0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	25	0	25	0,5	25	2
120	0	120	0	120	1		
180	0,6	180	0	180	1,5		
255	1,1	255	0	255	1,6		
543,24	2	1550	2	418,45	2		
1440	4,8			1440	4,5		

Al igual que la tabla anterior el análisis se basó en lo mismo, de acuerdo a la Tabla 5 se concluyó que la mayor compatibilidad entre la amina y arcilla se dio con la C30B, ya que el tiempo de asentamiento para la distancia establecida fue de 1550 minutos, mientras que la arcilla menos compatible fue CNa^+ cuyo tiempo de asentamiento fue de 25 minutos.

La arcilla C20A y C93A tuvieron un comportamiento muy distinto ya que su tiempo de asentamiento al principio fueron muy lejanos, pero después de los 255 minutos la distancia de asentamiento para ambos casos estuvo un poco más cercana.

TABLA 6

ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS T.T EN AMINA EDR-148

EDR-148							
20A		30B		93A		Na	
Tiempo (min)	Distancia (ml)						
0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	9	0	9	0,3	7	2
25	0,5	12	0	19	0,5	17	5,5
40	1	22	0	34	0,5		
53	1,5	37	0	47	0,7		
68	2	50	0	62	1		
123	3,5	65	0,2	117	1,5		
175	4,5	120	0,25	169	2		
		172	0,4				
		1440	2				

En la Tabla 6 se puede concluir que la mayor compatibilidad entre la amina y arcilla se dio con la C30B, ya que el tiempo de asentamiento para la distancia de 2 ml fue de 1440 minutos, mientras que la arcilla menos compatible fue CNa cuyo tiempo de asentamiento fue de 7 minutos a la misma distancia.

Los tiempos de asentamiento tanto para la arcilla C93A y C20A fueron muy distintos ya que para una misma distancia de asentamiento (2ml) el tiempo para la C 20A fue menor para la C 20A.

TABLA 7.

ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS T.T EN AMINA TETA

TETA							
20A		30B		93A		Na	
Tiempo (min)	Distancia (ml)						
0	0	0	0	0	0	0	0
40	0,5	40	0	40	0,5	40	2
70	1	70	0,1	70	0,7	70	4
90	1,5	90	0,2	90	1	90	5
100	2	100	0,5	100	1	100	5
115	2,5	115	0,5	115	1	115	6
130	3	130	0,5	130	1,5		
200	4	200	0,6	200	1,6		
250	4,5	615,81	2	250	2		
1440	7	1440	5	1440	3,2		

De acuerdo con la Tabla 7 se observó que la mayor compatibilidad entre la amina y arcilla se dio con la C30B, ya que el tiempo de asentamiento para la distancia de 2 ml fue de 615.81 minutos, mientras que la arcilla menos compatible fue C Na⁺ cuyo tiempo de asentamiento fue de 40 minutos a la misma distancia.

El tiempo de asentamiento para la arcilla C20A a los 2 ml de distancia fue 100 minutos, mientras que para la C 93A el tiempo de asentamiento para la misma distancia que la C20A fue de 250 minutos.

TABLA 8

ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS T.T EN AMINA TEPA

TEPA							
20A		30B		93A		Na	
Tiempo (min)	Distancia (ml)						
0	0	0	0	0	0	0	0
110	0,5	110	0	110	0,5	18	2
180	1,5	180	0	180	0,5		
200	2	200	0	200	0,7		
230	2,5	230	0	230	1		
		1440	2	714	2		
				1440	3,5		

Similar a las tablas anteriores, en la Tabla 8 se observó que la mayor compatibilidad entre amina y arcilla se dio con la C 30B, ya que el tiempo de asentamiento para la distancia de 2 ml fue de 1440 minutos, mientras que la arcilla menos compatible fue C Na⁺ cuyo tiempo de asentamiento fue de 18 minutos a la misma distancia.

El tiempo de asentamiento para la arcilla C20A a los 2 ml de distancia fue 200 minutos, mientras que para la C 93A el tiempo de asentamiento para la misma distancia fue de 714 minutos.

TABLA 9
ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS T.T EN AMINA D-230

D-230							
20A		30B		93A		Na	
Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)
0	0	0	0	0	0	0	0
15	0,5	56	0	25	0,5	25	2
36	1	116	0,5	50	2	1440	9,2
60	2	133	1	1440	2		
1440	7,5	193	1,5				
		291	2				

Se puede observar en la Tabla 9 que la mayor compatibilidad entre amina y arcilla se dio con la C 93A, ya que el tiempo de asentamiento para la distancia de 2 ml fue de 1440 minutos, mientras que la arcilla menos compatible fue C Na⁺ cuyo tiempo de asentamiento fue de 25 minutos a la misma distancia.

El tiempo de asentamiento para la arcilla C20A a los 2 ml de distancia fue 60 minutos, mientras que para la C30B el tiempo de asentamiento a la misma distancia fue de 291 minutos.

Resinas Epóxicas.

Una vez realizado el primer análisis con las Aminas, se concluyó que para el análisis con las Resinas se debería hacerlo solo con las arcillas C93A y C30B que fueron las más compatibles, estas

pruebas se las realizó utilizando el equipo centrifugador a 3000 rpm y 5 minutos obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA 10
ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS T.T EN RESINA GE-60

GE-60			
30B		93A	
Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)
10	0	10	0
15	0	15	0
20	0	20	0
25	0	25	0
30	0	30	0
60	0	60	0
70	0	70	0
80	0	80	0
100	0	100	1
130	0,2	130	1,6
160	0,5	160	2
190	0,5		
210	0,6		
270	1,2		
285	1,2		
315	1,7		
345	1,8		
375	2		

De acuerdo con la Tabla 10 se pudo observar que la arcilla más compatible con esta Resina epóxica es la C30B ya que su tiempo de asentamiento para una distancia de 2 ml fue de 375 minutos, mientras que para la C93A el tiempo de asentamiento para la misma distancia que la arcilla anterior fue de 160 minutos.

TABLA 11
ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS T.T EN RESINA GE-38

GE-38			
30B		93A	
Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)
10	0	10	0
15	0	15	0
20	0,2	20	0,5
25	0,2	25	0,6
30	0,3	30	0,6
60	2	60	2

En un análisis similar al anterior, la C30B tuvo un tiempo de asentamiento de 60 minutos, mientras que la C93A tuvo un tiempo de asentamiento de 60 minutos, por lo cual se pudo concluir que ambas arcillas tienen el mismo comportamiento con esta resina en particular.

TABLA 12
ASENTAMIENTO DE LAS ARCILLAS T.T EN RESINA GE-40

GE-40			
30B		93A	
Tiempo (min)	Distancia (ml)	Tiempo (min)	Distancia (ml)
30	0,3	5	0,8
60	1,5	10	1,6
90	2,5	15	2

De acuerdo con la Tabla 12 se determinó que la arcilla más compatible con esta Resina Epóxica es la C30B ya que su tiempo

de asentamiento para una distancia de 2 ml fue de 90 minutos, mientras que para la C93A el tiempo de asentamiento para la misma distancia que la arcilla anterior fue de 15 minutos.

Cabe recalcar que en esta ocasión sí fue necesaria la utilización del equipo centrifugador ya que como se mencionó anteriormente estas resinas son muy densas y utilizando la metodología de las aminas se demoraría mucho tiempo en asentarse, se utilizó parámetros de 3000 rpm y 5 minutos en el equipo para poder ir observando el asentamiento.

A continuación se muestran los comportamientos de las resinas y aminas de manera visual desde la figura 4.1 hasta la figura 4.120.

Prueba fallida de Asentamiento de Aminas con Inhibidor de corrosión usando equipo centrifugador (3000 RPM Y 15 MINUTOS).



**FIGURA 4.1 AMINA EDR-148 + NANOARCILLA 20A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.2 AMINA EDR-148 + NANOARCILLA 30B +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.3 AMINA EDR-148 + NANOARCILLA 93A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.4 AMINA EDR-148 + NANOARCILLA NA +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.5 AMINA EDR-176 + NANOARCILLA 20A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.6 AMINA EDR-176 + NANOARCILLA 30B +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.7 AMINA EDR-176 + NANOARCILLA 93A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.8 AMINA EDR-176 + NANOARCILLA NA +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.9 AMINA T-403 + NANOARCILLA 20A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.10 AMINA T-403 + NANOARCILLA 30B +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.11 AMINA T-403 + NANOARCILLA 93A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.12 AMINA T-403 + NANOARCILLA NA +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.13 AMINA D-230 + NANOARCILLA 20A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.14 AMINA D-230 + NANOARCILLA 30B +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.15 AMINA D-230 + NANOARCILLA 93A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.16 AMINA D-230 + NANOARCILLA NA +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.17 AMINA TEPA + NANOARCILLA 20A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.18 AMINA TEPA + NANOARCILLA 30B +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.19 AMINA TEPA + NANOARCILLA 93A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.20 AMINA TEPA + NANOARCILLA NA +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.21 AMINA TETA + NANOARCILLA 20A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.22 AMINA TETA + NANOARCILLA 30B +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.23 AMINA TETA + NANOARCILLA 93A +
INHIBIDOR MINUTO 15**



**FIGURA 4.24 AMINA TETA + NANOARCILLA NA +
INHIBIDOR MINUTO 15**

AMINAS SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN USANDO EQUIPO
CENTRIFUGADOR (3000 RPM Y 15 MINUTOS).



FIGURA 4.25 AMINA D-230 + NANOARCILLA 20A MINUTO 15



FIGURA 4.26 AMINA D-230 + NANOARCILLA 30B MINUTO 15



FIGURA 4.27 AMINA D-230 + NANOARCILLA 93A MINUTO 15



FIGURA 4.28 AMINA D-230 + NANOARCILLA NA MINUTO 15



FIGURA 4.29 AMINA EDR-148 + NANOARCILLA 20A MINUTO 15



FIGURA 4.30 AMINA EDR-148 + NANOARCILLA 30B MINUTO 15



FIGURA 4.31 AMINA EDR-148 + NANOARCILLA 93A MINUTO 15



FIGURA 4.32 AMINA EDR-148 + NANOARCILLA NA MINUTO 15



FIGURA 4.33 AMINA EDR-176 + NANOARCILLA 20A MINUTO 15



FIGURA 4.34 AMINA EDR-176 + NANOARCILLA 30B MINUTO 15



FIGURA 4.35 AMINA EDR-176 + NANOARCILLA 93A MINUTO 15



FIGURA 4.36 AMINA EDR-176 + NANOARCILLA NA MINUTO 15



FIGURA 4.37 AMINA T-403 + NANOARCILLA 20A MINUTO 15



FIGURA 4.38 AMINA T-403 + NANOARCILLA 30B MINUTO 15



FIGURA 4.39 AMINA T-403 + NANOARCILLA 93A MINUTO 15



FIGURA 4.40 AMINA T-403 + NANOARCILLA NA MINUTO 15



FIGURA 4.41 AMINA TEPA + NANOARCILLA 20A MINUTO 15



FIGURA 4.42 AMINA TEPA + NANOARCILLA 30B MINUTO 15



FIGURA 4.43 AMINA TEPA + NANOARCILLA 93A MINUTO 15



FIGURA 4.44 AMINA TEPA + NANOARCILLA NA MINUTO 15



FIGURA 4.45 AMINA TETA + NANOARCILLA 20A MINUTO 15



FIGURA 4.46 AMINA TETA + NANOARCILLA 30B MINUTO 15



FIGURA 4.47 AMINA TETA + NANOARCILLA 93A MINUTO 15



FIGURA 4.48 AMINA TETA + NANOARCILLA NA MINUTO 15

EPOXICAS PRUEBA DE ASENTAMIENTO USANDO EQUIPO CENTRIFUGADOR (3000RPM Y 15 MINUTOS).



**FIGURA 4.49 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA
20A MINUTO 15**



**FIGURA 4.50 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA
20A MINUTO 30**



**FIGURA 4.51 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA
30B MINUTO 15**



**FIGURA 4.52 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA
30B MINUTO 30**



**FIGURA 4.53 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA
93A MINUTO 15**



**FIGURA 4.54 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA
93A MINUTO 30**



**FIGURA 4.55 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA NA
MINUTO 15**



**FIGURA 4.56 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA NA
MINUTO 30**



**FIGURA 4.57 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA 20A
MINUTO 0.**



**FIGURA 4.58 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA 20A
MINUTO 15.**



**FIGURA 4.59 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA 20A
MINUTO 30.**



**FIGURA 4.60 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA 20A
MINUTO 45.**



**FIGURA 4.61 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA 20A
MINUTO 60**



**FIGURA 4.62 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA
30B MINUTO 0.**



**FIGURA 4.63 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA
30B MINUTO 15.**



**FIGURA 4.64 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA
30B MINUTO 30.**



**FIGURA 4.65 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA
30B MINUTO 45.**



**FIGURA 4.66 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA
30B MINUTO 60.**



**FIGURA 4.67 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA
93A MINUTO 0.**



**FIGURA 4.68 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA 93A
MINUTO 15.**



**FIGURA 4.69 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA
93A MINUTO 30.**



**FIGURA 4.70 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA
93A MINUTO 45.**



**FIGURA 4.71 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA
93A MINUTO 60.**



FIGURA 4.72 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA NA MINUTO 0.



FIGURA 4.73 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA NA MINUTO 15.



FIGURA 4.74 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA NA MINUTO 30.



FIGURA 4.75 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA NA MINUTO 45.



**FIGURA 4.76 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA NA
MINUTO 60.**

EPÓXICO PRUEBA SIN HORNO (2000 RPM Y 15 MINUTOS).



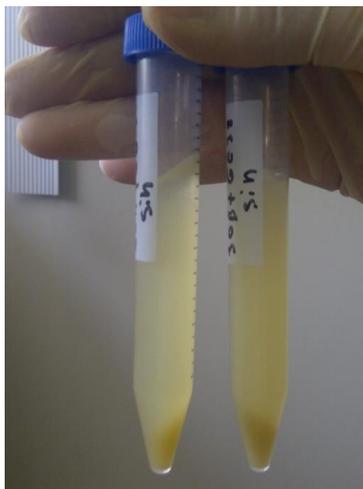
**FIGURA 4.77 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 0**



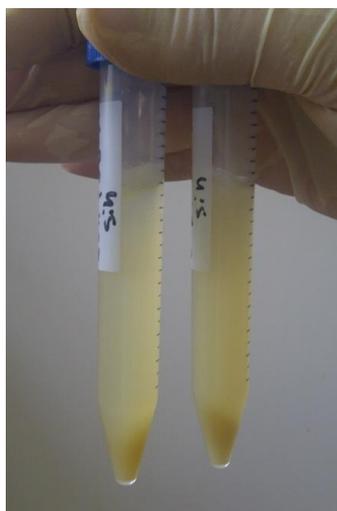
**FIGURA 4.78 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA
20A Y 30B MINUTO 15**



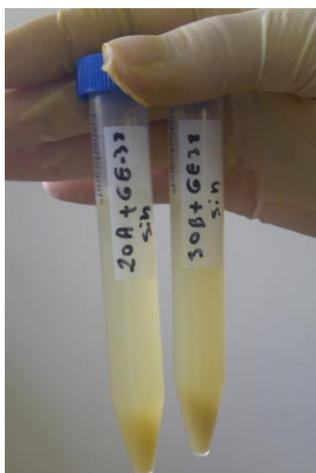
**FIGURA 4.79 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 30**



**FIGURA 4.80 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 45**



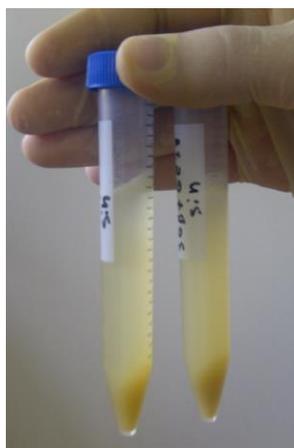
**FIGURA 4.81 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 60**



**FIGURA 4.82 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 75**



**FIGURA 4.83 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 90**



**FIGURA 4.84 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 105**



**FIGURA 4.85 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 120**



**FIGURA 4.86 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 135**

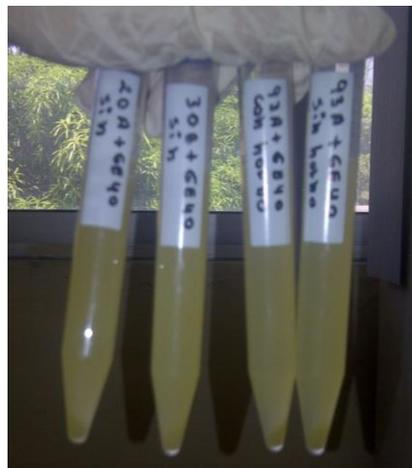


**FIGURA 4.87 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 20A Y
30B MINUTO 150**

GRUPO GE-40 SIN HORNO



**FIGURA 4.88 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 0**



**FIGURA 4.89 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 15**



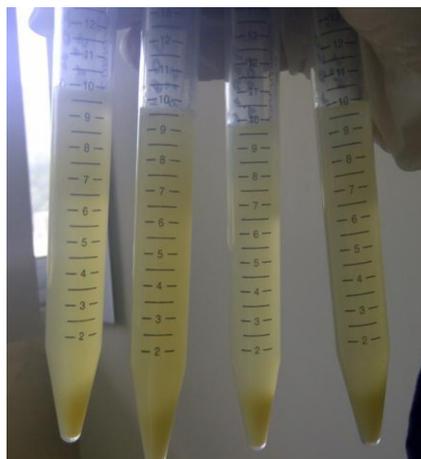
FIGURA 4.90 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A, 30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 30



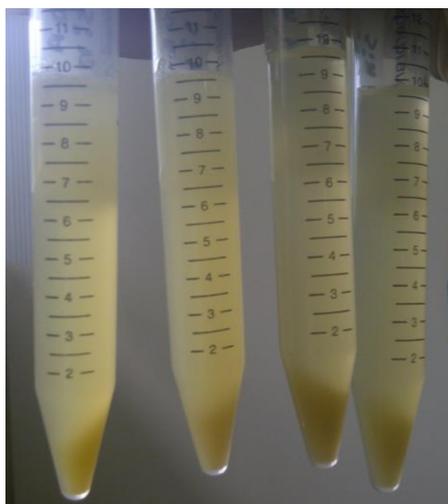
FIGURA 4.91 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A, 30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 45



**FIGURA 4.92 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 60**



**FIGURA 4.93 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 75**



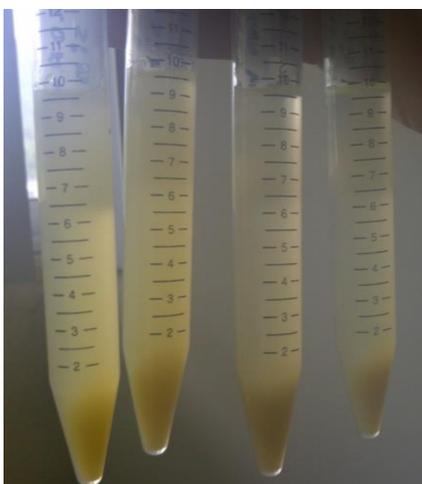
**FIGURA 4.94 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 90**



**FIGURA 4.95 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 105**



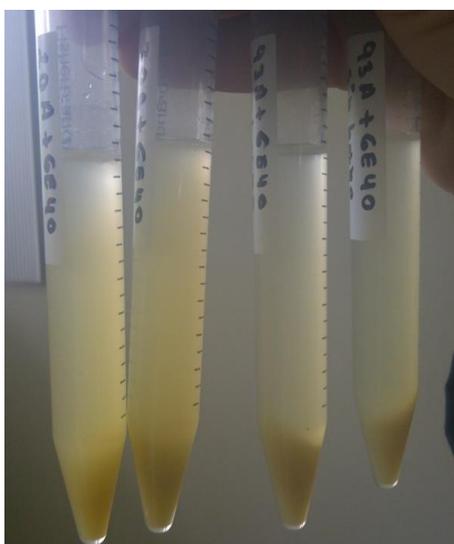
**FIGURA 4.96 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 120**



**FIGURA 4.97 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 135**



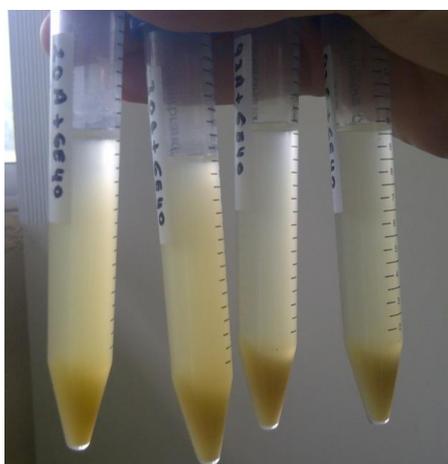
**FIGURA 4.98 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 150**



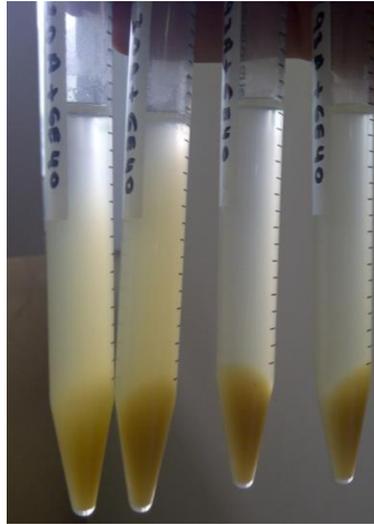
**FIGURA 4.99 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 165**



**FIGURA 4.100 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 180**



**FIGURA 4.101 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 195**



**FIGURA 4.102 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 20A,
30B, 93A CON HORNO Y SIN HORNO MINUTO 210**

PRUEBAS DE LAS ARCILLAS MÁS COMPATIBLES 30B Y 93A
CON RESINAS EPÓXICAS (AQUÍ SE OBTUVO LOS TIEMPOS DE
ASENTAMIENTO).



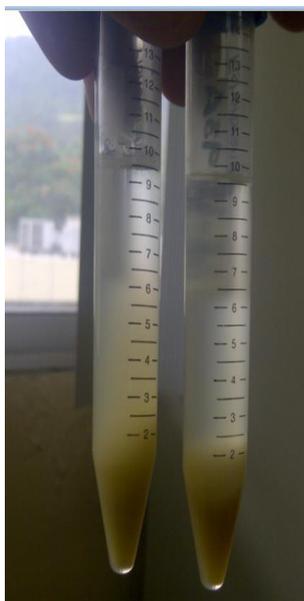
**FIGURA 4.103 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA 30B,
93A CON HORNO MINUTO 0.**



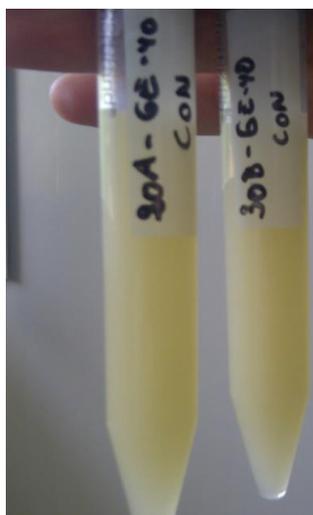
**FIGURA 4.104 RESINA EPÓXICA GE-60 + NANOARCILLA 30B,
93A CON HORNO ASENTADO.**



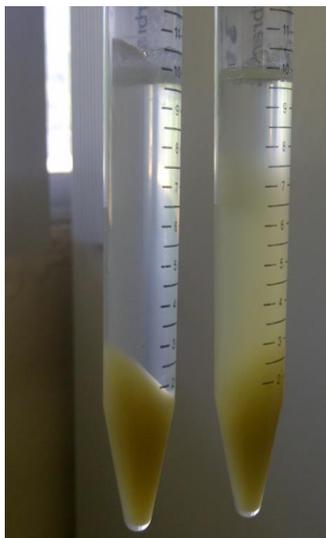
**FIGURA 4.105 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 30B,
93A CON HORNO MINUTO 0.**



**FIGURA 4.106 RESINA EPÓXICA GE-38 + NANOARCILLA 30B,
93A CON HORNO TOTALMENTE ASENTADO.**



**FIGURA 4.107 RESINA EPÓXICA GE-40+ NANOARCILLA 30B,
93A CON HORNO MINUTO 0.**

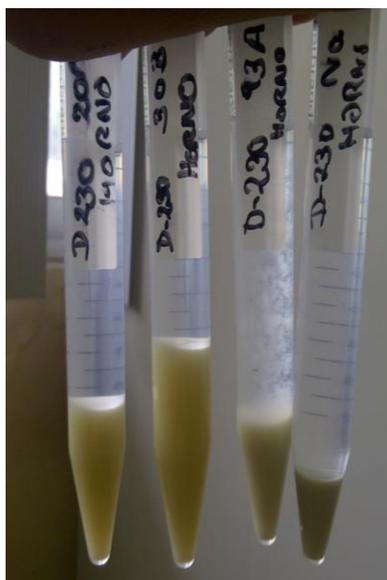


**FIGURA 4.108 RESINA EPÓXICA GE-40 + NANOARCILLA 30B,
93A CON HORNO TOTALMENTE ASENTADO.**

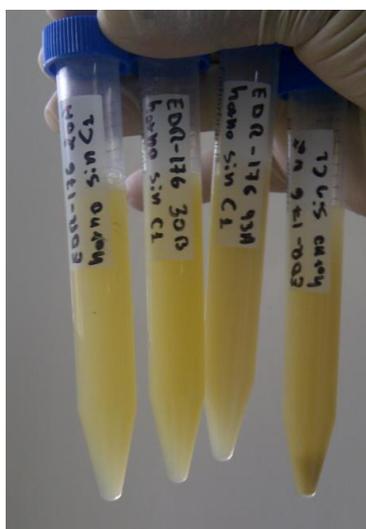
ASENTAMIENTOS EN AMINAS (AQUÍ SE OBTUVO LOS TIEMPOS
DE ASENTAMIENTO).



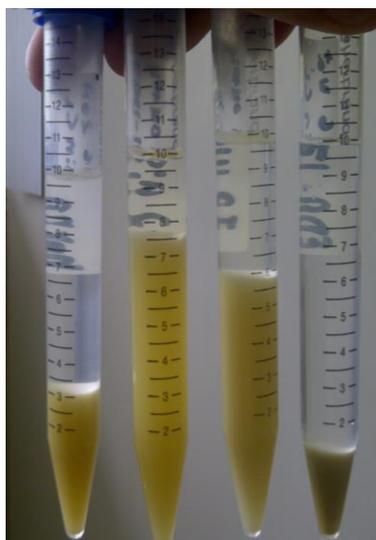
**FIGURA 4.109 AMINA D-230 + NANOARCILLAS CON HORNO
MINUTO 0.**



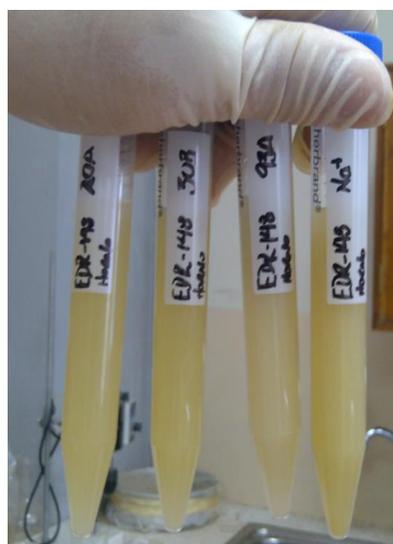
**FIGURA 4.110 AMINA D-230 + NANOARCILLAS CON HORNO
TOTALMENTE ASENTADA.**



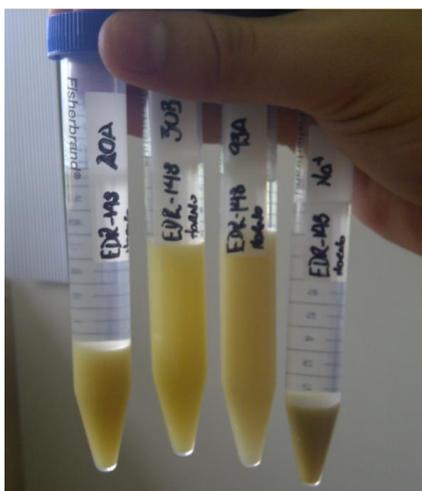
**FIGURA 4.111 AMINA EDR-176 + NANOARCILLAS CON HORNO
MINUTO 0.**



**FIGURA 4.112 AMINA EDR-176 + NANOARCILLAS CON HORNO
TOTALMENTE ASENTADA.**



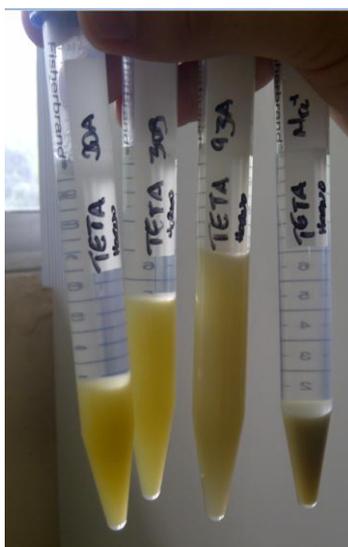
**FIGURA 4.113 AMINA EDR-148 + NANOARCILLAS CON HORNO
MINUTO 0.**



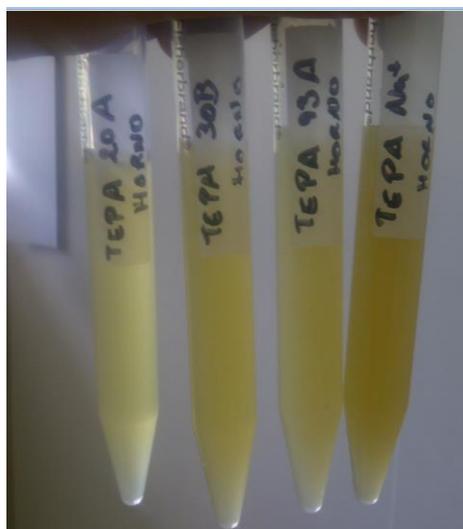
**FIGURA 4.114 AMINA EDR-148 + NANOARCILLAS CON HORNO
TOTALMENTE ASENTADAS.**



**FIGURA 4.115 AMINA TETA + NANOARCILLAS CON HORNO
MINUTO 0.**



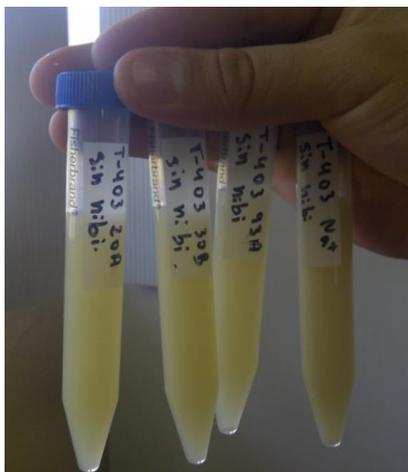
**FIGURA 4.116 AMINA TETA + NANOARCILLAS CON HORNO
TOTALMENTE ASENTADAS.**



**FIGURA 4.117 AMINA TEPA + NANOARCILLAS CON HORNO
MINUTO 0.**



**FIGURA 4.118 AMINA TEPA + NANOARCILLAS CON HORNO
TOTALMENTE ASENTADAS**



**FIGURA 4.119 AMINA T-403 + NANOARCILLAS CON HORNO
MINUTO 0.**



**FIGURA 4.120 AMINA T-403 + NANOARCILLAS CON HORNO
TOTALMENTE ASENTADAS**

**TABLA 13
ASENTAMIENTO TOTAL DE LAS ARCILLAS EN RESINAS.**

Mejor Resina Epóxica.		
	30B	93A
GE-60	2,5 ml	6 ml
GE-40	2,7 ml	7 ml
GE-38	4,5 ml	7,7 ml

Se determina que la mejor resina para la C30B y 93 A es la GE-60 ya que la distancia de asentamiento es menor, lo que indica que existe una mejor compatibilidad de la resina con las arcillas.

TABLA 14
ASENTAMIENTO TOTAL DE LAS ARCILLAS EN AMINAS

Mejor Amina Alifática.				
	20A (ml)	30B (ml)	93A (ml)	Na (ml)
D-230	7,3	4,5	8	8,5
EDR-176	6,9	2,4	4	9
EDR-148	6	3,5	3	7,5
TETA	3,3	3,9	3,5	7,5
TEPA	6,5	3,5	4,1	8
T-403	4,4	1,4	4	8,1

Se determina que la mejor amina para las arcillas es la T-403 ya que la distancia promedio de asentamiento es menor, lo que indica que existe una mejor compatibilidad de la amina con las arcillas.

Diámetro Hidrodinámico.

Para este ensayo se determinó el diámetro hidrodinámico mediante la relación obtenida basada en la Ley de Stoke

$$V_t = \frac{X_t}{T} = \frac{g \phi_{clay}^2 (\rho_{clay} - \rho_{medio})}{18 \mu_{medio}}$$

En donde V_t : Velocidad de asentamiento de la partícula en un fluido, X_t : Distancia de asentamiento (ml), T :Tiempo de asentamiento a una distancia X_t (min.), g : Gravedad, ϕ_{clay} : Diámetro hidrodinámico de la arcilla, ρ_{clay} : Densidad de la arcilla

(gr/cm^3), ρ_{medio} : Densidad del medio ya sea resina o amina (gr/cm^3), μ_{medio} : Viscosidad del medio ya sea resina o amina ($\text{Pa}\cdot\text{s}$), (Cst) respectivamente.

Cada uno de estos datos se obtuvo en las fichas técnicas mostradas en los apéndices de cada material, la distancia X_t es de 2 ml y es igual para todos.

Para determinar la relación de diámetros se consideró los siguientes sistemas: misma resina o amina y diferente arcilla, misma arcilla diferente resina o amina y diferentes arcillas con diferentes resinas o aminas.

Despejando e igualando ecuaciones se tuvo la siguiente relación de diámetros hidrodinámicos:

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \sqrt{\frac{(\rho_{2\text{arcilla}} - \rho_{\text{resina}}) * t_{2\text{asent}}}{(\rho_{1\text{arcilla}} - \rho_{\text{resina}}) * t_{1\text{asent}}}}$$

Obteniéndose los siguientes los resultados:

TABLA 15
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE
DIFERENTES ARCILLAS EN UNA MISMA AMINA

Nombres		d1/d2	Nombres		d1/d2
Tepa	20A-30B	3,41836889	EDR-176	20A-30B	4,42673926
	20A-Na	0,5252634		20A-Na	0,23807083
	20A-93A	2,28225514		20A-93A	1,36330744
	30B-Na	0,15365907		30B-Na	0,05378018
	30B-93A	0,66764448		30B-93A	0,30797103
	93A-Na	0,23015104		93A-Na	0,1746274
Teta	20A-30B	3,14205498	D-230	20A-30B	6,39449533
	20A-Na	1,09544512		20A-Na	1,10538744
	20A-93A	1,90029238		20A-93A	5,8571963
	30B-Na	0,3486397		30B-Na	0,39895839
	30B-93A	0,60479285		30B-93A	2,11398966
	93A-Na	0,57646135		93A-Na	0,18872296
EDR-148	20A-30B	5,86245429	T-403	20A-30B	2,14392035
	20A-Na	0,56175953		20A-Na	0,37315456
	20A-93A	1,90422815		20A-93A	1,05690023
	30B-Na	0,09582327		30B-Na	0,17405244
	30B-93A	0,32481757		30B-93A	0,49297551
	93A-Na	0,29500642		93A-Na	0,35306507

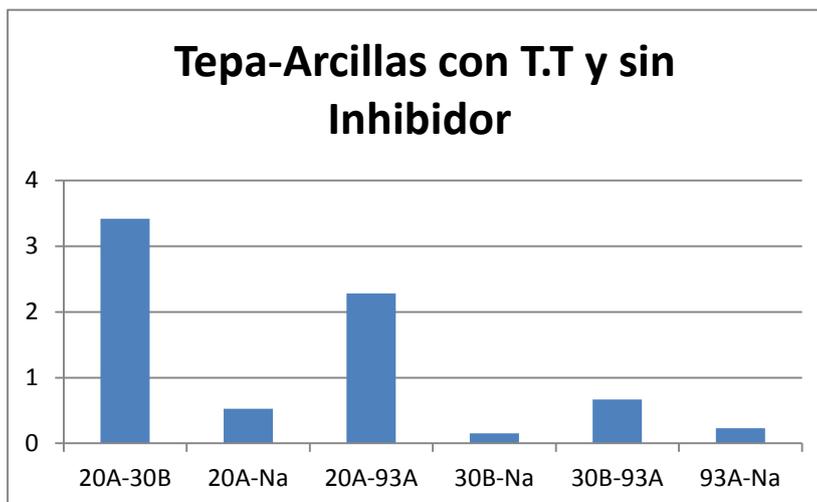


FIGURA 4.121 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE DIFERENTES ARCILLAS EN AMINA TEPA

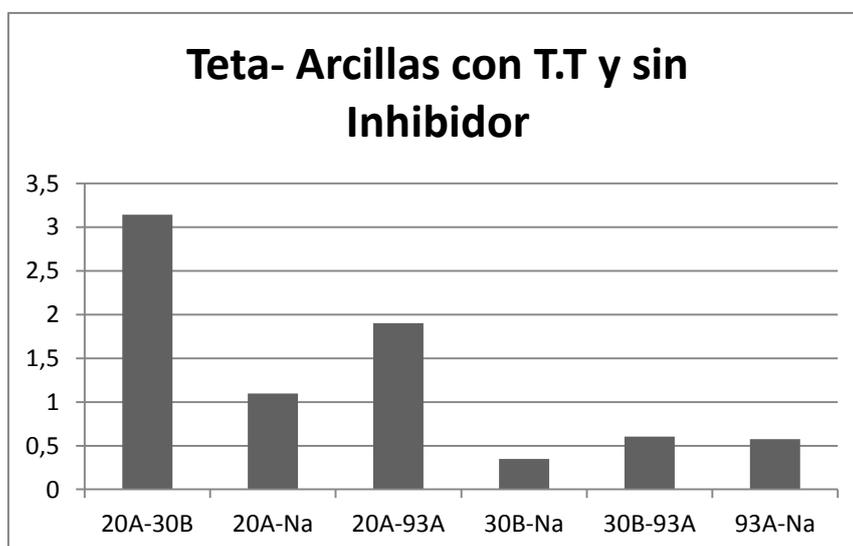
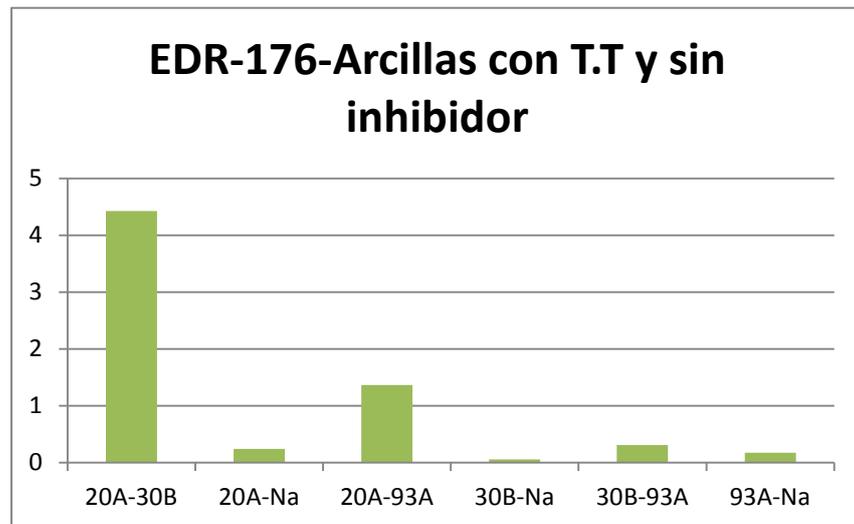
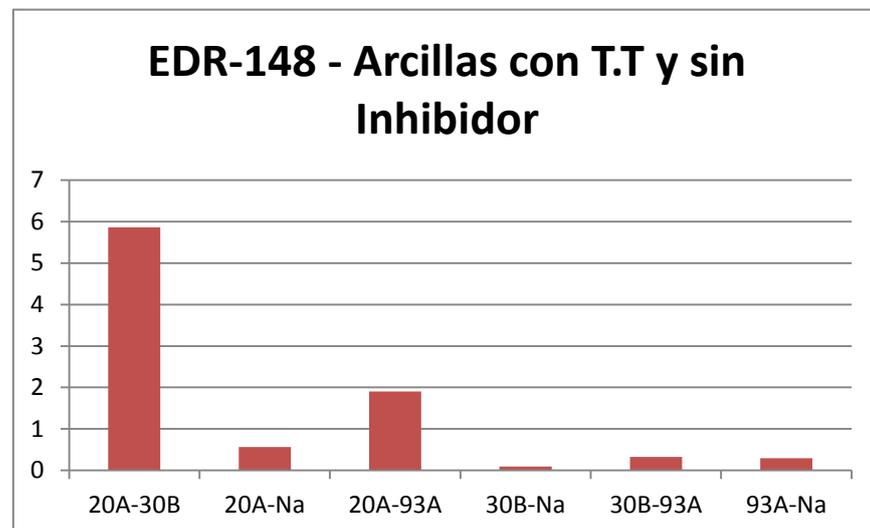


FIGURA 4.122 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE DIFERENTES ARCILLAS EN AMINA TETA



**FIGURA 4.123 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS
DE DIFERENTES ARCILLAS EN AMINA EDR-176**



**FIGURA 4.124 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS
DE DIFERENTES ARCILLAS EN AMINA EDR-148**

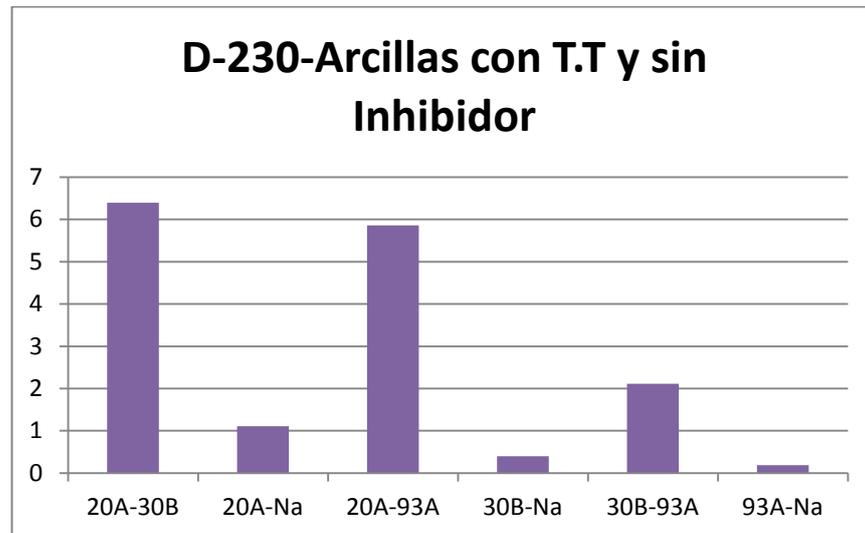


FIGURA 4.125 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE DIFERENTES ARCILLAS EN AMINA D-230

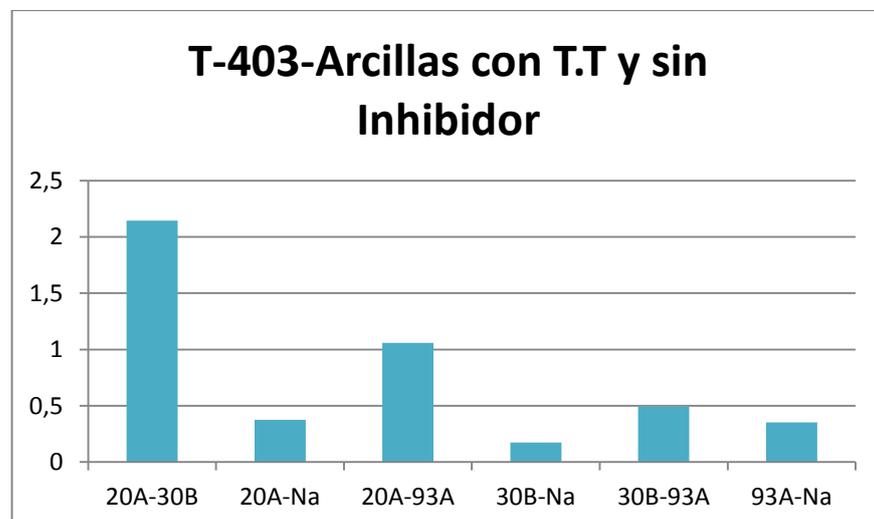


FIGURA 4.126 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE DIFERENTES ARCILLAS EN AMINA T-403

De acuerdo con la Tabla 15 se pudo determinar para los siguientes sistemas que:

TEPA: La mejor relación de D.H en este sistema se dio con la mezcla de las arcillas C20A-C30B, la cual fue de 3.41836889, lo que indica que en este sistema la C20A tiene un mayor D.H que la C30B, por lo cual el tiempo de asentamiento de C20A es mayor en comparación con el tiempo de asentamiento de C30B (ver Tabla 8) entonces se concluyó que la mezcla C30B-TEPA fue la más compatible.

TETA: En este caso la mayor relación de D.H se dio con la mezcla de las arcillas C20A-C30B, la cual fue de 3.14205498 que al igual que en el análisis anterior, indico que la mejor compatibilidad se dio en la mezcla Teta-30B debido a que su tiempo de asentamiento fue mayor en comparación con la mezcla TETA-C20A (ver Tabla 7).

EDR-148: La mejor relación de D.H se dio con las arcillas C20A-C30B, la cual fue de 5.86245429 que indico mayor compatibilidad de C30B en la Amina en comparación con la C20A en la Amina debido a sus tiempos de asentamiento (ver Tabla 6).

EDR-176: La mejor relación de D.H se dio con las arcillas C20A-C30B, la cual fue de 4.42673926 que indico mayor compatibilidad de C30B en la Amina en comparación con la C20A en la Amina debido a sus tiempos de asentamiento (ver Tabla 4).

D-230: La mejor relación de D.H se dio con las arcillas C20A-C30B, la cual fue de 6.39449533 que indico mayor compatibilidad de C30B en la Amina en comparación con la C20A en la Amina debido a sus tiempos de asentamiento (ver Tabla 9).

T-403: La mejor relación de D.H se dio con las arcillas C20A-C30B, la cual fue de 2.14392035 que indico mayor compatibilidad de C30B en la Amina en comparación con la C20A en la Amina debido a sus tiempos de asentamiento (ver Tabla 5).

Cabe recalcar que la relación de D.H solo depende en este caso de los tiempos de asentamiento ya que se trata de sistemas de una misma Amina y diferentes Arcillas, es decir no interviene en la fórmula la viscosidad del medio.

TABLA 16.
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE LA
ARCILLA 20A EN DIFERENTES AMINAS

Nombres	d1/d2
20A Tapa-20A Teta	1,14256813
20A Tapa-20A EDR-148	1,5163278
20A Tapa-20A EDR-176	1,80794492
20A Tapa-20A D-230	1,35131419
20ATapa-20A T-403	1,44259204
20A Teta-20A EDR-148	0,93841726
20A Teta-20A EDR-176	1,11889183
20A Teta-20A D-230	0,83629447
20A Teta-20A T-403	0,89278405
20A EDR-148-20A EDR-176	0,69523486
20A EDR-148-20A D-230	0,51964013
20A EDR-148-20A T-403	0,55474052
20A EDR-176-20A D-230	0,54669867
20A EDR-176-20A T-403	0,58362682
20A D-230-20A T-403	0,58471986

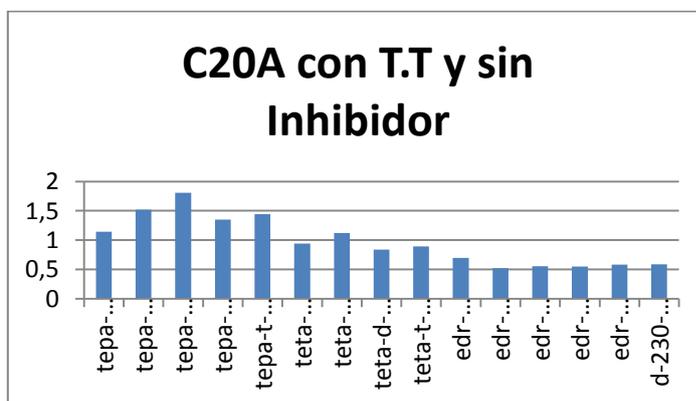


FIGURA 4.127 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS
DE ARCILLA 20A EN DIFERENTES AMINAS

Así mismo para el análisis de la Tabla 13 se pudo observar que en la relación de D.H con la nanoarcilla C20A en la que se utilizó la mezcla con las Animas Alifáticas TEPA y EDR-176 ($d_1/d_2=1,80794492$), dio como resultado del análisis que la mezcla de la C20A con la TEPA es la que tiene menor tiempo de asentamiento, ya que posee un D.H mayor, en comparación con la mezcla de la nanoarcilla C20A con la EDR-176, esto demuestra que la primera muestra se asentó más rápido que la segunda lo que se constató observando los tiempos de asentamiento de las mezclas (Ver Tabla 4 y 8).

Además se pudo también hacer el análisis con la mezcla que tenga menor relación de D.H: 20A EDR-148 y la 20A D-230, se tuvo un resultado de 0,51964013 con lo cual se pudo saber que el tiempo de asentamiento para la primera mezcla va a ser mayor por lo que posee un diámetro hidrodinámico menor que la segunda (Ver tabla 6 y 9).

TABLA 17
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE LA
ARCILLA 30B EN DIFERENTES AMINAS

Nombres	d1/d2
30B Tapa-30B Teta	1,05021196
30B Tapa-30B EDR-148	2,60048072
30B Tapa-30B EDR-176	2,34126305
30B Tapa-30B D-230	1,09527791
30B Tapa-30B T-403	0,90475971
30B Teta-30B EDR-148	2,47614843
30B Teta-30B EDR-176	2,22932436
30B Teta-30B D-230	1,04291127
30B Teta-30B T-403	0,86150199
30B EDR-148-30B EDR-176	0,90031928
30B EDR-148-30B D-230	0,42118285
30B EDR-148-30B T-403	0,34792017
30B EDR-176-30B D-230	0,46781496
30B EDR-176-30B T-403	0,38644087
30B D-230-30B T-403	0,82605497

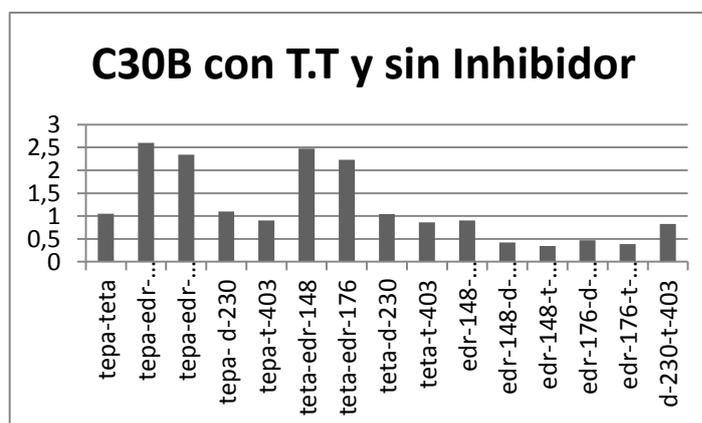


FIGURA 4.128 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS
DE ARCILLA 30B EN DIFERENTES AMINAS

Se analizó como siempre las mezclas más dispares con respecto a la relación de diámetros hidrodinámicos:

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite 30B con las Aminas Alifáticas TEPA y EDR-148 dio como resultado 2,60048072 siendo esta la que posee mayor diferencia de diámetros hidrodinámicos, esto indica que en la mezcla de las dos aminas con la arcilla, la TEPA es la que posee menor tiempo de asentamiento en comparación con la EDR-148 (Ver Tabla 8 y 6).

La mezcla de la nanoarcilla 30B con las Aminas Alifáticas EDR-148 y la T-403 dio como resultado 0,34792017 siendo esta la que posee el menor valor de diferencia de D.H, de esta mezcla se observó que la EDR-148 tiene un mayor tiempo de asentamiento en comparación con la T-403 (Ver tabla 6 y 5).

TABLA 18
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE LA
ARCILLA 93A EN DIFERENTES AMINAS

Nombres	d1/d2
93ATepa-93A Teta	0,95134565
93A Tepa-93A EDR-148	1,26516709
93A Tepa-93A EDR-176	1,07997775
93A Tepa-93A D-230	3,46802263
93A Tepa-93A T-403	0,66805671
93A Teta-93A EDR-148	1,32987108
93A Teta-93A EDR-176	1,13521071
93A Teta-93A D-230	3,64538645
93A Teta-93A T-403	0,7022229
93A EDR-148-93A EDR-176	0,85362456
93A EDR-148-93A D-230	2,7411577
93A EDR-148-93A T-403	0,52803832
93A EDR-176-93A D-230	3,21119814
93A EDR-176-93A T-403	0,61858379
93A D-230-93A T-403	0,19263333

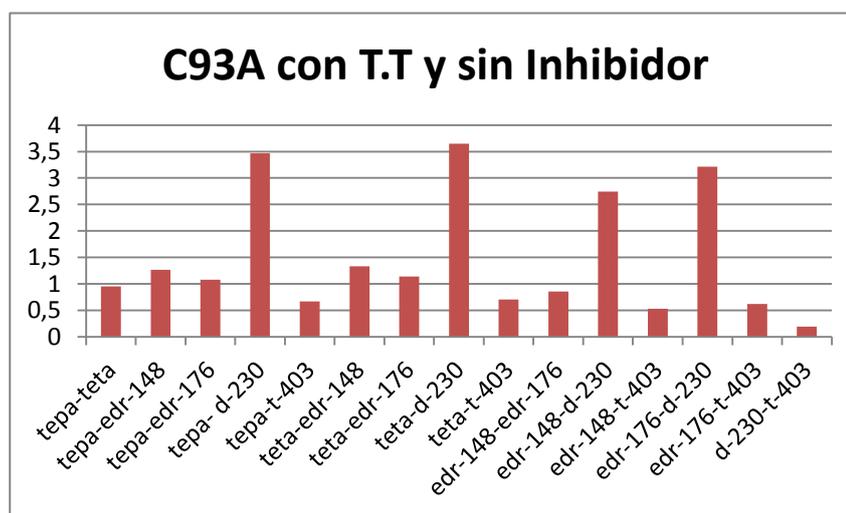


FIGURA 4.129 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS
DE ARCILLA 93A EN DIFERENTES AMINAS

Se analizó como siempre las mezclas más disparejas con respecto a la relación de D.H:

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite 93A con las Aminas Alifáticas TETA y D-230 dio como resultado 3,64538645 siendo esta la que posee mayor diferencia de D.H, esto demostró que la TETA es la que posee menor tiempo de asentamiento en comparación con la D-230 (Ver tabla 6 y 8).

La mezcla de la nanoarcilla 93A con las Aminas Alifáticas D-230 y la T-403 dio como resultado 0,19263333 siendo esta la que posee el menor valor de diferencia de D.H, se observó que la D-230 tiene un mayor tiempo de asentamiento en comparación con la T-403 (Ver tabla 9 y 5).

TABLA 19
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE
DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Nombres	d1/d2
20A Tapa- 30B Teta	3,59001188
20A Tapa- 30B EDR-148	8,88940242
20A Tapa- 30B EDR-176	8,00330078
20A Tapa- 30B D-230	5,1860417
20A Tapa- 30B T-403	3,09280244
20A Tapa- Na Teta	1,25162067
20A Tapa-Na EDR-148	0,85181159
20A Tapa-Na EDR-176	0,43041895
20A Tapa-Na D-230	1,49372573
20A Tapa-Na T-403	0,5383098

20A Tapa-93A Teta	2,1712135
20A Tapa-93A EDR-148	2,88743409
20A Tapa-93A EDR-176	2,46478476
20A Tapa-93A D-230	11,2413142
20A Tapa-93A T-403	1,52467586
30B Tapa-20A Teta	0,33424366
30BTapa- 20A EDR-148	0,44358226
30B Tapa- 20A EDR-176	0,52889111
30B Tapa- 20A D-230	0,39530964
30B Tapa- 20A T-403	0,42201181
30B Tapa- Na Teta	0,36614558
30B Tapa-Na EDR-148	0,24918656
30B Tapa-Na EDR-176	0,12591355
30B Tapa-Na D-230	0,43697032
30B Tapa-Na T-403	0,15747563
30B Tapa-93A Teta	0,63516068
30B Tapa-93A EDR-148	0,84468183
30BTapa-93A EDR-176	0,72104119
30B Tapa-93A D-230	2,31540618
30B Tapa-93A T-403	0,44602438
Na Tapa-20A Teta	2,1752289
NaTapa-20A EDR-148	2,88679508
NaTapa-20A EDR-176	3,44197773
Na Tapa-20A D-230	2,57264106
Na Tapa-20A T-403	2,74641645
Na Tapa-30B Teta	6,83468881
NaTapa-30B EDR-148	16,9237042
NaTapa-30B EDR-176	15,2367379
Na Tapa-30B D-230	7,12797417
Na Tapa-30B T-403	5,88809812
Na Tapa-93A Teta	4,13357089
NaTapa-93A EDR-148	5,49711647
NaTapa-93A EDR-176	4,69247384
Na Tapa-93A D-230	15,0684637
Na Tapa-93A T-403	2,90268817
93A Tapa-20A Teta	0,5006312
93ATapa-20A EDR-148	1,076029
93ATapa-20A EDR-176	0,79217476
93A Tapa-20A D-230	0,59209602

93A Tapa-20A T-403	0,63209061
93A Tapa-30B Teta	1,57301076
93ATapa-30B EDR-148	3,89500817
93ATapa-30B EDR-176	3,50675112
93A Tapa-30B D-230	1,64051069
93A Tapa-30B T-403	1,35515192
93A Tapa-Na Teta	0,548414
93ATapa-Na EDR-148	0,46157424
93ATapa-Na EDR-176	0,1885937
93A Tapa-Na D-230	0,65449551
93A Tapa-Na T-403	0,23586749

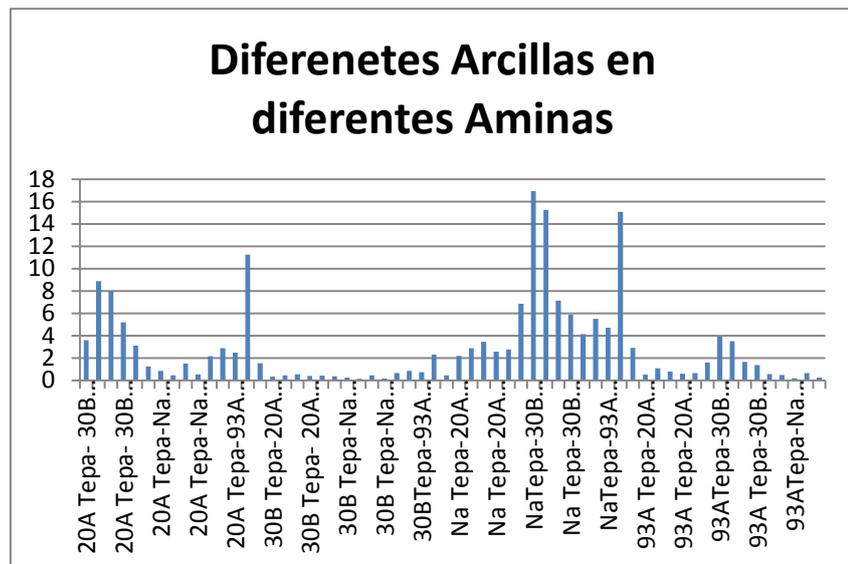


FIGURA 4.130 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Cabe recalcar que solamente se puede analizar el D.H en sistemas de una misma arcilla en diferentes resinas o aminas y misma resina

o amina y diferentes arcillas, sin embargo se realizó este análisis por simple inspección.

Se analizó mezclas más dispares con respecto a la relación de D.H de la Tabla 19 y se observó lo siguiente:

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite Na con la Amina TEPA y la mezcla de la nanoarcilla 30B y la Amina Alifática EDR-148 dio como resultado 16,9237042 siendo esta la que posee mayor diferencia de D.H, y se demostró que la mezcla de la nanoarcilla Na y la Amina TEPA es la que posee menor tiempo de asentamiento en comparación con la mezcla de la nanoarcilla 30B y la Amina EDR-148, esto se constató al revisar los tiempos de asentamientos de las dos diferentes mezclas (Ver Tabla 8 y 6).

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite 30B con la Amina Alifática TEPA y la mezcla de la nanoarcilla Cloisite Na y la Amina EDR-176 dio como resultado 0,12591355 siendo esta la que posee el menor valor de diferencia de D.H y se concluyó que la primera mezcla posee un D.H mucho mayor que el de la segunda mezcla, por lo tanto el tiempo de asentamiento de la primera mezcla va a ser mayor que la segunda, ya que las partículas de la primera mezcla

quedan en suspensión un mayor tiempo debido a su D.H. (Ver Tabla 8 y 4).

TABLA 20
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE
DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Nombres	d1/d2
20A Teta-30B EDR-148	7,78019464
20A Teta-30B EDR-176	9,8564297
20 A Teta-30B D-230	3,27688464
20A Teta-30B T-403	2,70688667
20A Teta-93A EDR-148	2,52714391
20A Teta-93A EDR-176	2,15723221
20 A Teta-93A D-230	6,92730025
20A Teta-93A T-403	1,33442884
20A Teta-Na EDR-148	0,74552368
20A Teta-Na EDR-176	0,37671185
20 A Teta-Na D-230	1,30734063
20A Teta-Na T-403	0,47114022
30B Teta-20A EDR-148	0,42237403
30B Teta-20A EDR-176	0,50360416
30B Teta-20A D-230	0,37640939
30B Teta-20A T-403	0,40183489
30B Teta-93A EDR-148	0,80429653
30B Teta-93A EDR-176	0,6865673
30BTeta-93A D-230	0,41082228
30B Teta-93A T-403	0,42469939
30B Teta-Na EDR-148	0,29343362
30B Teta-Na EDR-176	0,11989346
30B Teta-Na D-230	0,41607821
30B Teta-Na T-403	0,14994652
93A Teta-20A EDR-148	0,69837803
93ATeta-20A EDR-176	0,83268869
93A Teta-20A D-230	0,62237739

93A Teta-20A T-403	0,6644174
93A Teta-30B EDR-148	4,09420926
93A Teta-30B EDR-176	3,68609571
93ATeta-30B D-230	1,72441077
93A Teta-30B T-403	1,424458
93A Teta-Na EDR-148	0,39232051
93A Teta-Na EDR-176	0,19823889
93A Teta-Na D-230	0,68796815
93A Teta-Na T-403	0,24793038
Na Teta-20A EDR-148	0,39077343
NaTeta-20A EDR-176	1,45218707
Na Teta-20A D-230	1,08540972
Na Teta-20A T-403	1,1587264
Na Teta-30B EDR-148	7,14019278
Na Teta-30B EDR-176	6,42845354
NaTeta-30B D-230	3,00732683
Na Teta-30B T-403	2,48421711
Na Teta-93A EDR-148	2,31926006
NaTeta-93A EDR-176	1,97977744
Na Teta-93A D-230	6,35745782
Na Teta-93A T-403	0,77308669

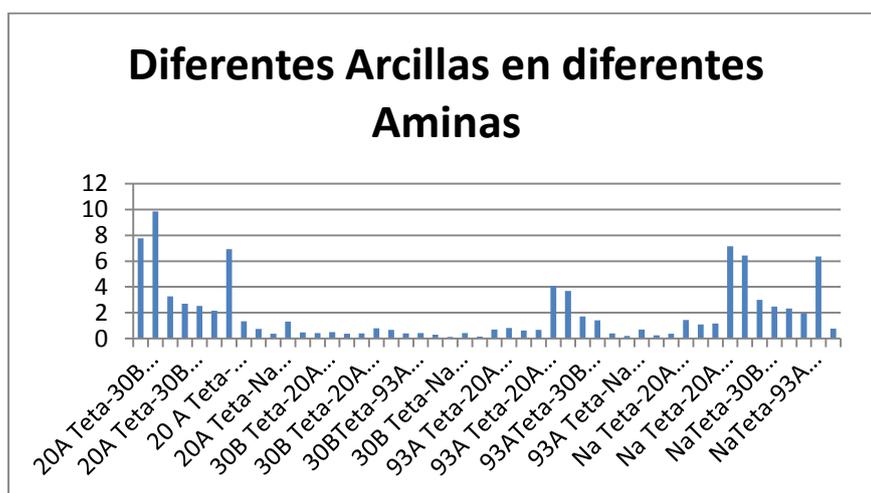


FIGURA 4.131 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Con respecto a la relación de D.H de la Tabla 20 se observó lo siguiente:

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite 20A con la Amina TETA y la mezcla de la nanoarcilla 30B y la Amina Alifática EDR-148 dio como resultado 9,8564297 siendo esta la que posee mayor diferencia de D.H, lo cual indico que la mezcla de la nanoarcilla 20A y la Amina TETA es la que posee menor tiempo de asentamiento en comparación con la mezcla de la nanoarcilla 30B y la Amina EDR-148, esto se constató al revisar los tiempos de asentamientos de las dos diferentes mezclas(Ver Tabla 7 y 6).

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite 30B con la Amina Alifática TETA y la mezcla de la nanoarcilla Cloisite Na y la Amina EDR-176 dio como resultado 0,11989346 siendo esta la que posee el menor valor de diferencia de D.H, de aquí se concluyó que la primera mezcla posee un D.H mucho mayor que el de la segunda, por lo tanto el tiempo de asentamiento de la primera mezcla va a ser mayor que en de la segunda, ya que las partículas de la primera mezcla quedaran en suspensión ya que es menor el diámetro de la partícula. (Ver tabla 7 y 4).

TABLA 21
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE
DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Nombres	d1/d2
20A EDR-148-30B EDR-176	5,27808088
20A EDR-148-30B D-230	2,46916527
20A EDR-148-30B T-403	2,03966612
20A EDR-148-Na EDR-176	0,28385614
20A EDR-148-Na D-230	0,72372516
20A EDR-148-Na T-403	0,25903786
20A EDR-148-93A EDR-176	1,62549599
20A EDR-148-93A D-230	5,49268776
20A EDR-148-93A T-403	1,05977829
30B EDR-148-20A EDR-176	0,20338205
30B EDR-148-20A D-230	0,15201406
30B EDR-148-20A T-403	0,16228223
30B EDR-148-Na EDR-176	0,04841933
30B EDR-148-Na D-230	0,09812466
30B EDR-148-NA T-403	0,03481329
30B EDR-148-93A EDR-176	0,27727227
30B EDR-148-93A D-230	0,74471378
30B EDR-148-93A T-403	0,14242849
Na EDR-148-20A EDR-176	2,12247043
Na EDR-148-20A D-230	1,58640033
Na EDR-148-20A T-403	1,69355765
Na EDR-148-30B EDR-176	9,3956232
Na EDR-148-30B D-230	3,49368431
Na EDR-148-30B T-403	2,8606845
Na EDR-148-93A EDR-176	2,89357973
Na EDR-148-93A D-230	9,29185812
Na EDR-148-93A T-403	1,78992147
93A EDR-148-20A EDR-176	0,6261424
93A EDR-148-20A D-230	0,46799828
93A EDR-148-20A T-403	0,49961038
93A EDR-148-30B EDR-176	2,77176917
93A EDR-148-30B D-230	1,29667512
93A EDR-148-30B T-403	1,07112486
93A EDR-148-Na EDR-176	0,14906624
93A EDR-148-Na D-230	0,51731942
93A EDR-148-Na T-403	0,18643189

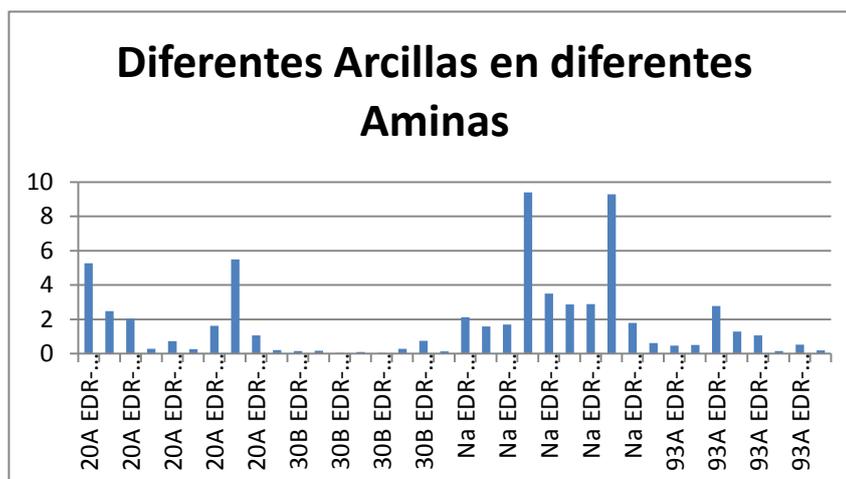


FIGURA 4.132 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Se analizó como siempre las mezclas más dispares con respecto a la relación de D.H de la Tabla 21 y se observó lo siguiente:

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite Na con la Amina EDR-148 y la mezcla de la nanoarcilla 30B y la Amina Alifática EDR-176 dio como resultado 9,3956232 siendo esta la que posee mayor diferencia de D.H, esto dice que en la mezcla de las dos aminas con las diferentes arcillas, la mezcla de la nanoarcilla Na y la Amina EDR-148 es la que posee menor tiempo de asentamiento en comparación con la mezcla de la nanoarcilla 30B y la Amina EDR-176, esto se constató al revisar los tiempos de asentamientos de las dos diferentes mezclas (Ver Tabla 7 y 5).

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite 30B con la Amina Alifática EDR-148 y la mezcla de la nanoarcilla Cloisite Na y la Amina T-403 dio como resultado 0,03481329 siendo esta la que posee el menor valor de diferencia de D.H, de aquí se concluyó que la primera mezcla posee un D.H mucho mayor que el de la segunda mezcla, por lo tanto el tiempo de asentamiento de la primera mezcla va a ser mayor que la segunda, ya que las partículas de la primera mezcla quedaran en suspensión un mayor tiempo.(Ver Tabla 6 y 5).

TABLA 22
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE
DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Nombres	d1/d2
20A EDR-176-30B D-230	2,07089491
20A EDR-176-30B T-403	1,71067293
20A EDR-176-Na D-230	0,82620091
20A EDR176-Na T-403	0,29774679
20A EDR-176-93A D-230	4,37785044
20A EDR176-93A T-403	0,84331986
30B EDR-176-20A D-230	0,16884461
30B EDR-176-20A T-403	0,18024963
30B EDR-176-Na D-230	0,18663871
30B EDR176-Na T-403	0,03866772
30B EDR-176-93A D-230	0,98895602
30B EDR176-93A T-403	0,15819775
Na EDR-176-20A D-230	3,13953228
Na EDR-176-20A T-403	3,35159973
Na EDR-176-30B D-230	8,69865032
Na EDR176-30B T-403	7,18556287
Na EDR-176-93A D-230	18,3888568

Na EDR176-93A T-403	3,54230652
93A EDR-176-20A D-230	0,54824835
93A EDR-176-20A T-403	0,58528114
93A EDR-176-30B D-230	1,51902268
93A EDR176-30B T-403	1,25479615
93A EDR-176-Na D-230	0,60125365
93A EDR176-Na T-403	0,12555635

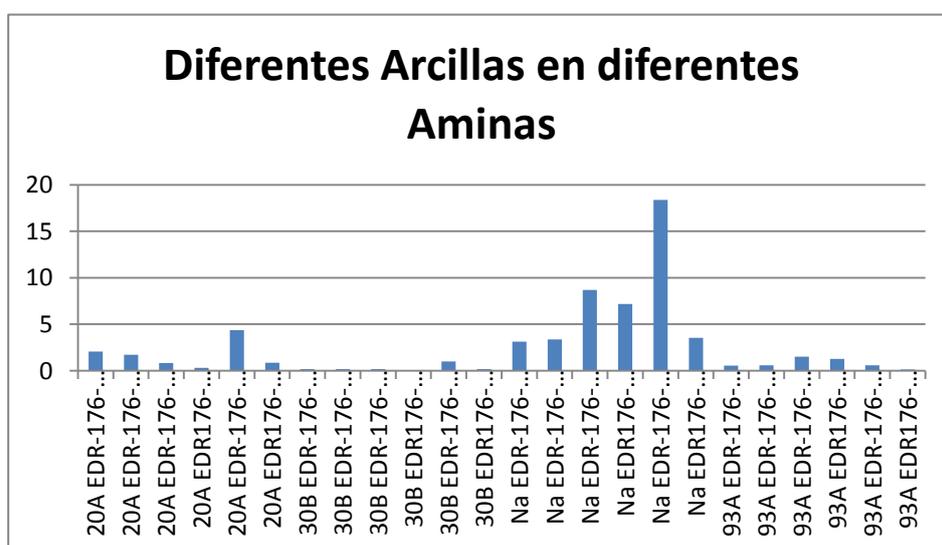


FIGURA 4.133 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Se analizó las mezclas más dispares con respecto a la relación de D.H de la Tabla 22 y se observó lo siguiente:

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite Na con la Amina EDR-176 y la mezcla de la nanoarcilla 93A y la Amina Alifática D-230 dio como resultado 18,3888568 siendo esta la que posee mayor diferencia de

D.H, esto indico que la mezcla de la nanoarcilla Na y la Amina EDR-176 es la que posee menor tiempo de asentamiento en comparación con la mezcla de la nanoarcilla 93A y la Amina D-230, esto se constató al revisar los tiempos de asentamientos de las dos diferentes mezclas (Ver Tabla 4 y 9).

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite 30B con la Amina Alifática EDR-176 y la mezcla de la nanoarcilla Cloisite Na y la Amina T-403 dio como resultado 0,03866772 siendo esta la que posee el menor valor de diferencia de D.H, de aquí se concluyó que la primera mezcla posee un diámetro mucho mayor que el de la segunda mezcla, por lo tanto el tiempo de asentamiento de la primera mezcla va a ser mayor que la segunda, ya que las partículas de la primera mezcla quedaran en suspensión ya que es menor el diámetro de la partícula. (Ver Tabla 4 y 5).

TABLA 23
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE
DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Nombres	d1/d2
20A D-230-30B T-403	2,28873674
20A D-230-Na T-403	0,3983602
20A D-230-93A T-403	1,12829116
30BD-230-20A T-403	0,38530112
30B D-230-Na T-403	0,14377687
30B D-230-93A T-403	0,40722484
Na D-230-20A T-403	0,96576768
Na D-230-30B T-403	2,07052899
Na D-230-93A T-403	1,02072009
93A D-230-20A T-403	0,18226254
93A D-230-30B T-403	0,39075637
93A D-230-Na T-403	0,0680121

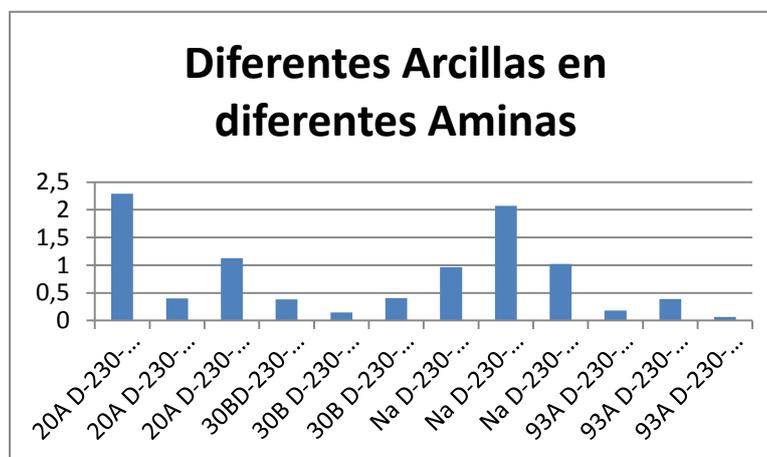


FIGURA 4.134 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS
DE DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES AMINAS

Se analizó las mezclas más dispares con respecto a la relación de diámetros hidrodinámicos de la Tabla 23 y se observó lo siguiente:

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite 20A con la Amina D-230 y la mezcla de la nanoarcilla 30B y la Amina Alifática T-403 dio como resultado 2,28873674 siendo esta la que posee mayor diferencia de D.H, se demostró que la mezcla de la nanoarcilla 20A y la Amina D-230 es la que posee menor tiempo de asentamiento en comparación con la mezcla de la nanoarcilla 30B y la Amina T-403, esto se constató al revisar los tiempos de asentamientos de las dos diferentes mezclas (Ver Tabla 9 y 5).

La mezcla de la nanoarcilla Cloisite 93A con la Amina Alifática D-230 y la mezcla de la nanoarcilla Cloisite Na y la Amina T-403 dio como resultado 0,0680121 siendo esta la que posee el menor valor de diferencia de diámetros, de aquí se concluyó que la primera mezcla posee un D.H mucho mayor que el de la segunda mezcla, por lo tanto el tiempo de asentamiento de la primera mezcla va a ser mayor que la segunda, ya que las partículas de la primera mezcla quedarán en suspensión debido que el diámetro de la partícula es menor. (Ver Tabla 9 y 5).

TABLA 24
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE LA
ARCILLA 30B EN DIFERENTES RESINA

Nombres	d1/d2
30B GE-60-30B GE-38	1,35088177
30B GE-60-30B GE-40	1,61824134
30B GE-38-30B GE-40	1,19791486

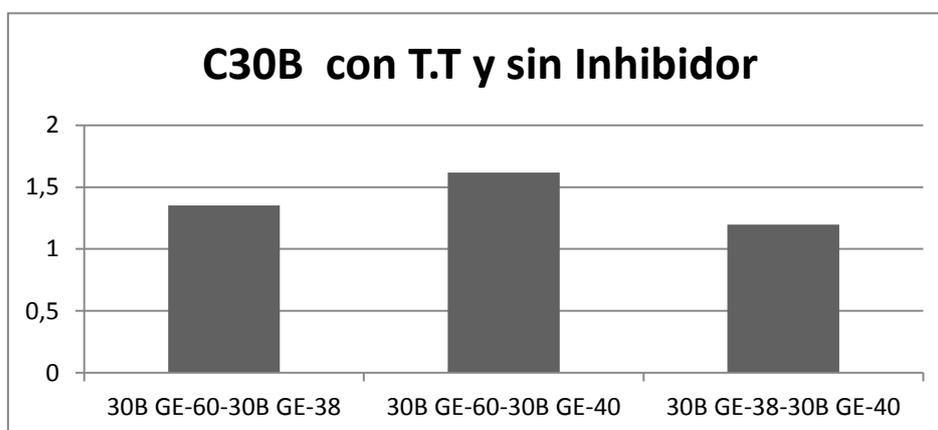


FIGURA 4.135 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS
DE ARCILLA 30B EN DIFERENTES RESINAS

Para la Tabla 24 se analizó:

En la mezcla de la Nanoarcilla 30B con las Resinas Epóxicas GE-60 y GE-38 se observó que la mezcla con la resina GE-60 posee un mayor diámetro hidrodinámico, hay que tener en cuenta que en los valores de las diferencias de diámetros va a depender no solo del tiempo como en los análisis pasados sino que también van a

depender de la viscosidad de las resinas, siendo la viscosidad de la resina GE-60 (13 Pa*s) mucho mayor que en la de la GE-38 (1.230 Pa*s) debido a esto el tiempo de asentamiento de la mezcla de nanoarcilla 30B con la resina Ge-60 va a ser mucho mayor que el de la GE-38.

En la mezcla de la Nanoarcilla Cloisite 30B con las Resinas Epóxicas GE-60 y GE-40 se observó lo mismo que con la mezcla anterior pero la viscosidad de la GE-40 es de 1.05 Pa*s el cual va a incrementar el valor de la diferencia de D.H.

En la mezcla de la Nanoarcilla Cloisite 30B con las Resinas Epóxicas Ge-38 y Ge-40 se observó una disminución en el valor de la diferencia de diámetros ya que sus tiempos de asentamiento y viscosidades varían, además se observó que con esta mezcla arrojó un valor de diferencia de diámetros más cercana a 1.

TABLA 25
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE LA
ARCILLA 93A EN DIFERENTES RESINA

Nombres	d1/d2
93A GE-60-93A GE-38	2,08081251
93A GE-60-93A GE-40	1,11298944
93A GE-38-93A GE-40	2,19006859

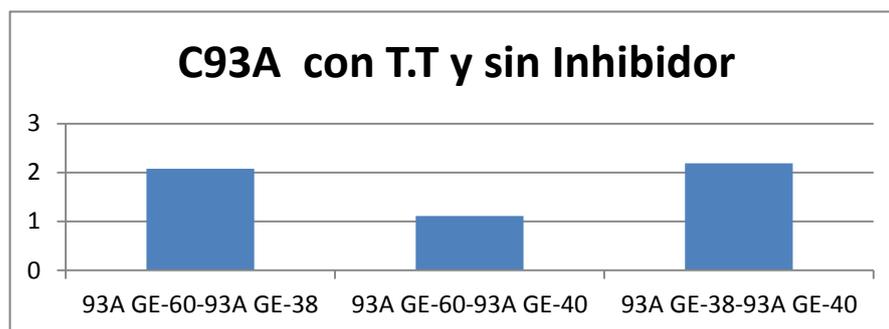


FIGURA 4.136 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE ARCILLA 93A EN DIFERENTES RESINAS

De acuerdo con la Tabla 25, la mejor relación de D.H se dio con la Arcilla 93A y las Resinas Bio-epóxicas GE-38 y GE-40, el cual fue de 2.19006859, lo que indico que para este caso la mezcla con mayor D.H se dio con C93A-GE-38 en comparación con D.H de 93A-GE-40, una relación intermedia de D.H se dio con la Arcilla 93A y las Resinas Bio-epóxicas GE-60 y GE-38, mientras que la de menor relación ocurrió con la Arcilla 93A y las resinas epóxicas GE-60 y GE-40.

**TABLA 26
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE DIFERENTES ARCILLAS EN UNA MISMA RESINA**

Nombres		d1/d2
GE-60	30B-93A	0,60438049
GE-38	30B-93A	0,93094934
GE-40	30B-93A	0,4156791

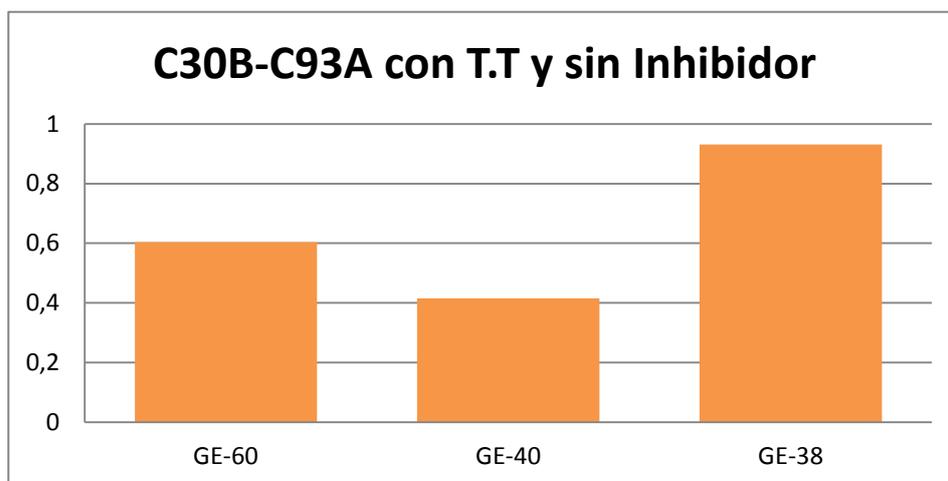


FIGURA 4.137 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE ARCILLA 93A-30B EN MISMA RESINA

Al igual que en el análisis anterior, en la Tabla 26, la mejor relación de D.H se obtuvo con la resina GE-38 y las arcillas C30B y C93A el cual fue de 0.93094934, lo que indico que para este caso la mezcla con mayor D.H fue la C93A-GE-38 en comparación con D.H de C30B-GE-38, una relación intermedia se dio con la Resina Bio-epóxica GE-60 y las arcillas C30B y C93A, mientras que la de menor relación de D.H ocurrió con la Resina epóxica GE-40 y las arcillas C30B y C93A.

TABLA 27
RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS ENTRE
DIFERENTES ARCILLAS EN DIFERENTES RESINAS

Nombres	d1/d2
30B GE-60-93A GE-38	1,25760249
30B GE-60-93A GE-40	0,67266911
93A GE-60-30B GE-38	2,23515118
93A GE-60-30B GE-40	2,6775208
30B GE-38-93A GE-40	0,49794817
93A GE-38-30B GE-40	1,28676697

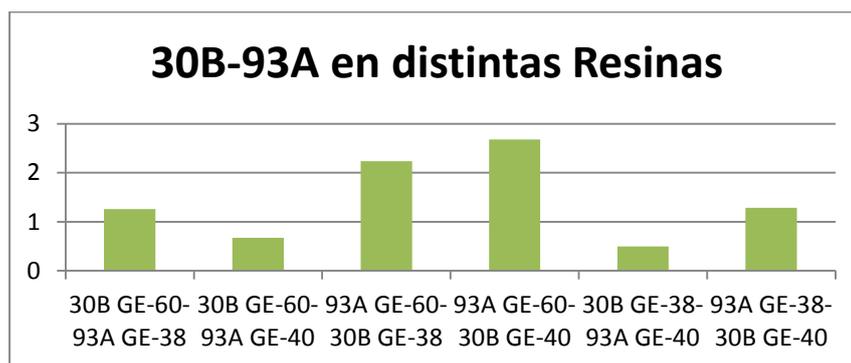


FIGURA 4.138 RELACIÓN DE DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS
DE ARCILLA 30B-93A EN DISTINTAS RESINAS

Para la Tabla 27 se analizó:

En la mezcla de la nanoarcilla 93A con la resina Ge-60 y la mezcla de la Nanoarcilla Cloisite 30B con la resina Ge-40 se observó que la diferencia de D.H es mayor (2,6775208), debido a que el D.H de la

primera mezcla fue 2,677 veces mayor al de la segunda mezcla. Se concluyó que el tiempo de asentamiento de la GE-60 con la C93A será mayor debido a que su viscosidad es mayor que el del GE-40 con la C30B.

En la mezcla de la nanoarcilla 30B con la resina Ge-38 y la mezcla de la Nanoarcilla Cloisite 93A con la resina Ge-40 se observó que la diferencia de D.H es la menor (0,49794817).

En la mezcla de la nanoarcilla 30B con la resina GE-60 y la mezcla de la Nanoarcilla Cloisite 93A con la resina GE-38 se observó que la diferencia de D.H es la más cercana a 1 (1,25760249).

Velocidad de Asentamiento.

Los datos son obtenidos de las tablas 4,5,6,7,8,9,10,11,12; cabe recalcar que la distancia de asentamiento fue medida con regla directamente del envase $2\text{ml} \approx 1.25\text{cm}$. Se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA 28
VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO DE ARCILLAS EN RESINAS

Velocidad de Asentamiento (V_t) [cm/min]				
	20A	30B	93A	Na
GE-60		0,00333333	0,0078125	
GE-40		0,01666667	0,08333333	
GE-38		0,02083333	0,02083333	

TABLA 29
VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO DE ARCILLAS EN AMINAS

Velocidad de Asentamiento (V_t) [cm/min]				
	20A	30B	93A	Na
T-403	0,00230203	0,00080645	0,00298329	0,05
EDR-148	0,01838235	0,00086806	0,00739645	0,17857143
EDR-176	0,01168224	0,00096154	0,00912409	0,625
D-230	0,02083333	0,00429553	0,00086806	0,05
TEPA	0,00625	0,00086806	0,0017507	0,06944444
TETA	0,0125	0,00202922	0,005	0,03125

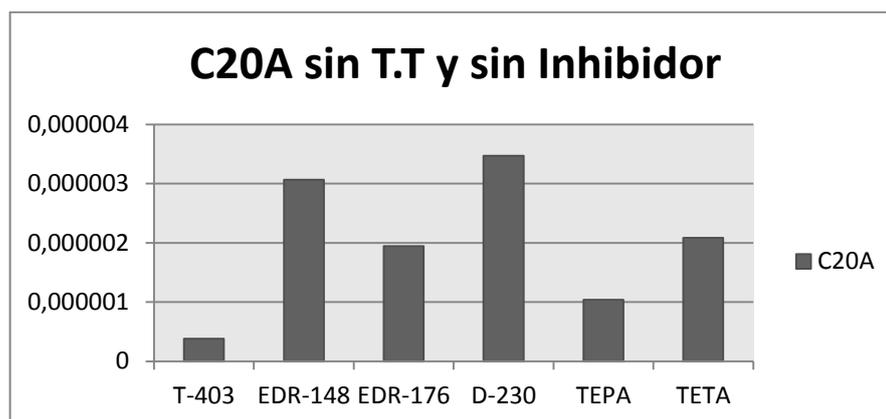
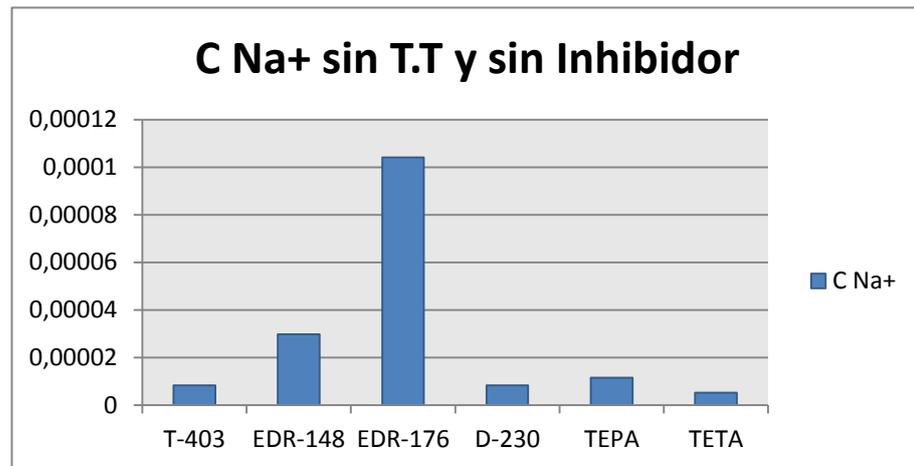
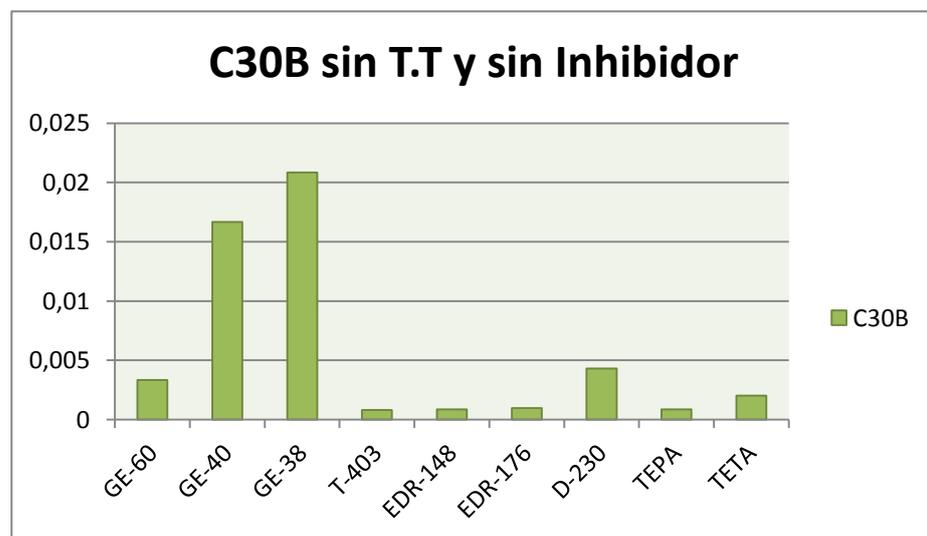


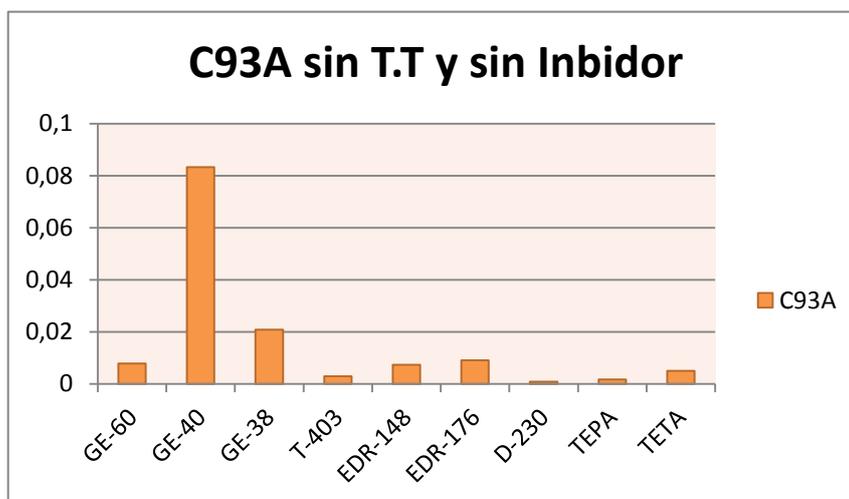
FIGURA 4.139 VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO DE ARCILLA
20A EN DISTINTAS AMINAS



**FIGURA 4.140 VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO DE ARCILLA
NA EN DISTINTAS AMINAS**



**FIGURA 4.141 VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO DE ARCILLA
30B EN DISTINTAS RESINAS Y AMINAS**



**FIGURA 4.142 VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO DE ARCILLA
93A EN DISTINTAS RESINAS Y AMINAS**

Con respecto a la Tabla 25 y 26, las velocidades de asentamiento para la C93A en la resina epóxica GE-60 fue mayor en comparación con la velocidad de asentamiento de la C30B, debido a que esta tiene un mayor D.H que C30B (Ver Tabla 26) por lo cual su velocidad de asentamiento también es mayor.

Para la resina GE-40 se pudo observar que la velocidad fue mayor para la C93A, debido a que esta tiene un mayor D.H que C30B (ver Tabla 26) por lo cual, se tuvo un tiempo de asentamiento menor.

Para la resina GE-38 se pudo observar que la velocidad fue la misma para ambas arcillas, debido a que su tiempo de asentamiento es similar (ver Tabla 11).

Para la Amina T-403 la velocidad de asentamiento mayor se dio con CNa debido a que esta tiene mayor densidad que las otras mientras que la de menor velocidad fue con C30B debido a su gran compatibilidad con esta amina.

Para la Amina EDR-148 la velocidad de asentamiento mayor se dio con CNa debido a que esta tiene mayor densidad que las otras mientras que la de menor velocidad fue con C30B debido a su gran compatibilidad.

Para la Amina EDR-176 la velocidad de asentamiento mayor se dio con CNa debido a que esta tiene mayor densidad que las otras mientras que la de menor velocidad fue con C30B debido a su gran compatibilidad.

Para las demás Aminas se cumple lo mismo que en el análisis anterior.

Fuerza de Arrastre o Fricción.

Las velocidades de asentamiento se obtuvieron de la Tabla 25, el diámetro de las arcillas fueron obtenidas de las hojas técnicas de las mismas, la viscosidad de las Aminas y Resinas también.

Una vez reemplazado los valores se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 30

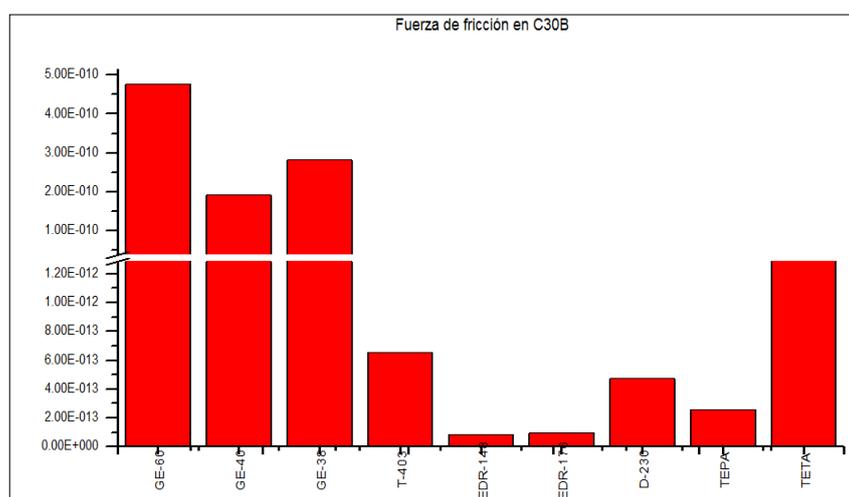
FUERZA DE ARRASTRE EN RESINAS

Fuerza de Fricción (Fd) [N]				
	20A	30B	93A	Na
GE-60		2,86E-06	6,70E-06	
GE-40		1,15E-06	5,77E-06	
GE-38		1,69E-06	1,69E-06	

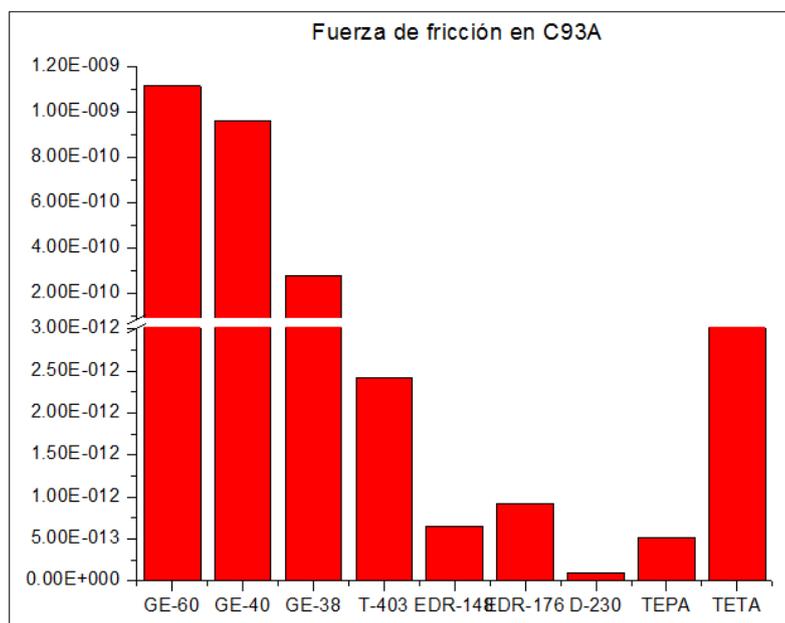
Tabla 31

FUERZA DE ARRASTRE EN AMINAS

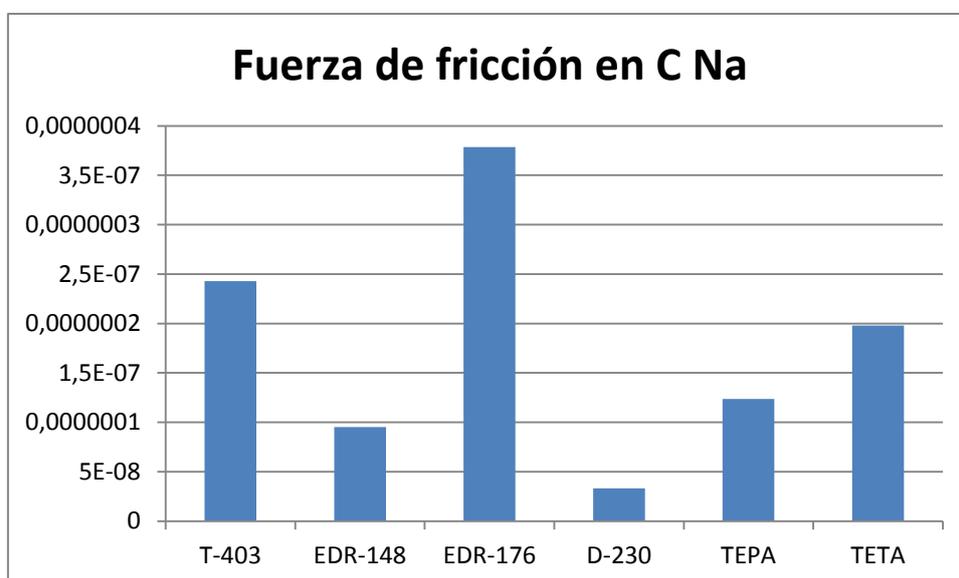
Fuerza de Fricción (Fd) [N]				
	20A	30B	93A	Na
T-403	1,12E-08	3,92E-09	1,45E-08	2,43E-07
EDR-148	9,80E-09	5,13E-10	3,94E-09	9,52E-08
EDR-176	7,08E-09	5,83E-10	5,53E-09	3,79E-07
D-230	1,38E-08	2,84E-09	5,74E-10	3,31E-08
TEPA	1,11E-08	1,55E-09	3,12E-09	1,24E-07
TETA	7,92E-08	1,29E-08	3,17E-08	1,98E-07



**FIGURA 4.143 FUERZA DE FRICCIÓN ENTRE C30B-RESINAS
EPOXICAS Y C30B-AMINAS ALIFÁTICAS**



**FIGURA 4.144 FUERZA DE FRICCIÓN ENTRE C93A-RESINAS
EPÓXICAS Y C93A-AMINAS ALIFÁTICAS**



**FIGURA 4.145 FUERZA DE FRICCIÓN ENTRE C Na Y AMINAS
ALIFÁTICAS**

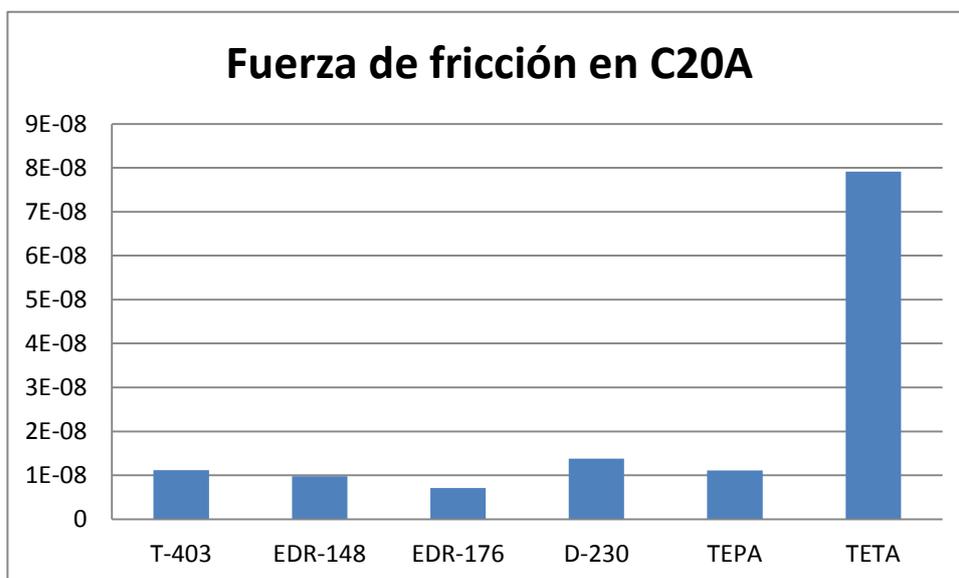


FIGURA 4.146 FUERZA DE FRICCIÓN ENTRE C20A Y AMINAS ALIFÁTICAS

De acuerdo a la Tabla 27 y 28 se tiene que:

Para GE-60 la fuerza de fricción es mayor para la C93A debido a que su D.H es mayor en comparación con C30B.

Para GE-40 la fuerza de fricción es mayor para la C93A debido a que su D.H es mayor en comparación con C30B.

Para GE-38 la fuerza de fricción es mayor para la C93A debido a que su D.H es mayor en comparación con C30B.

Para la Amina T-403, la fuerza de fricción es mayor para la CNa⁺, mientras que la menor fuerza se da para la C30B, esto es debido al D.H.

Para la Amina EDR-148, la fuerza de fricción es mayor para la CNa^+ , mientras que la menor fuerza se da para la C30B, debido al D.H.

Al igual que en las Aminas T-403 y EDR-148, ocurre para la EDR-176, pero para las Aminas D-230 y TEPA se cumple que la mayor fuerza de fricción se da para la CNa^+ , mientras que la menor se da para la C93A, pero para la Amina TETA se cumple que la mayor fuerza de fricción se da para la CNa^+ , mientras que la menor se da para la C20A.

Ensayo Termogravimétrico (TGA)

Mediante las gráficas obtenidas se realizó el análisis de las mezclas de con C93A y C30B para este ensayo debido a que fueron los mejores resultados que se obtuvieron en el ensayo de asentamiento, el cual se detalla a continuación:

- **ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS CON LA NANOARCILLA 93A**

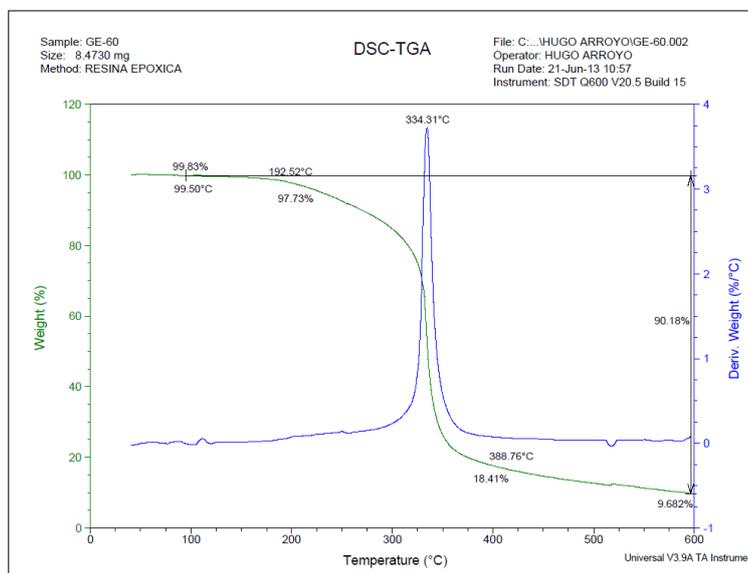


FIGURA 4.147 TGA DE RESINA EPÓXICA GE-60 PURA

En el análisis TG y DTG de la Resina Epóxicas GE-60 de la Figura 4.147 se puede observar que es insignificante la presencia de agua libre, y se podría apreciar uno valores de agua tan bajos como 0.8% de la masa total cerca de loa 100°C. El pico de degradación térmica más relevante se observa a 334°C producto de la descomposición de la resina. Este pico representa la degradación térmica máxima de la resina, esta descomposición empieza aproximadamente desde 200°C y termina cerca de los 400°C., luego de esta temperatura la degradación residual de la resina es muy pequeña. Se observa que a los 600°C la masa total perdida es de 90.18%.

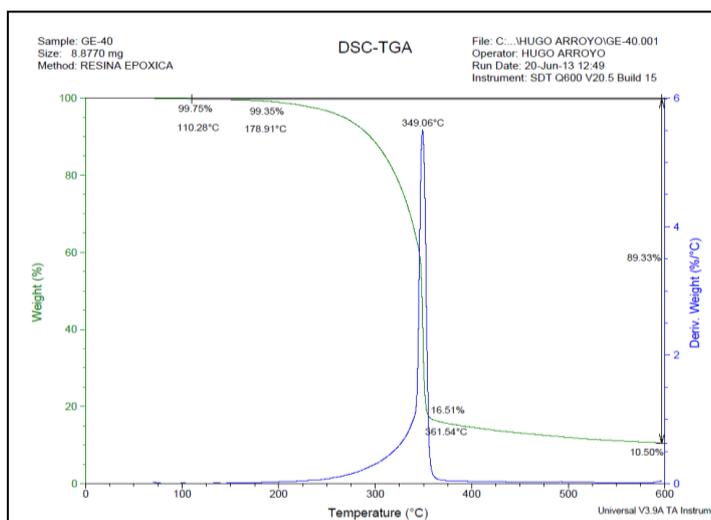


FIGURA 4.148 TGA DE LA RESINA EPÓXICA GE-40 PURA

En el análisis de la figura 4.148 de TG y DTG de la Resina GE-40 se puede apreciar un valor de pérdida de agua libre muy bajo como es 0.25% en la primera parte siendo esta menor a la presente a la resina GE-60; la degradación de la parte orgánica comienza desde 200°C terminando a los 350°C producto de la degradación de la resina, obteniendo una disminución del 82.84% y la degradación residual en un 6%. Obtuvimos un total de masa pérdida del 89.33% a los 600°C.

El pico máximo de la Resina GE-40 es de 349.06°C mostrando la mayor tasa de pérdida de peso en relación a la temperatura.

Al comparar la resina GE-60 y GE-40 el pico de degradación térmica de la GE-60 es más brusco y un poco mayor al de la GE-40.

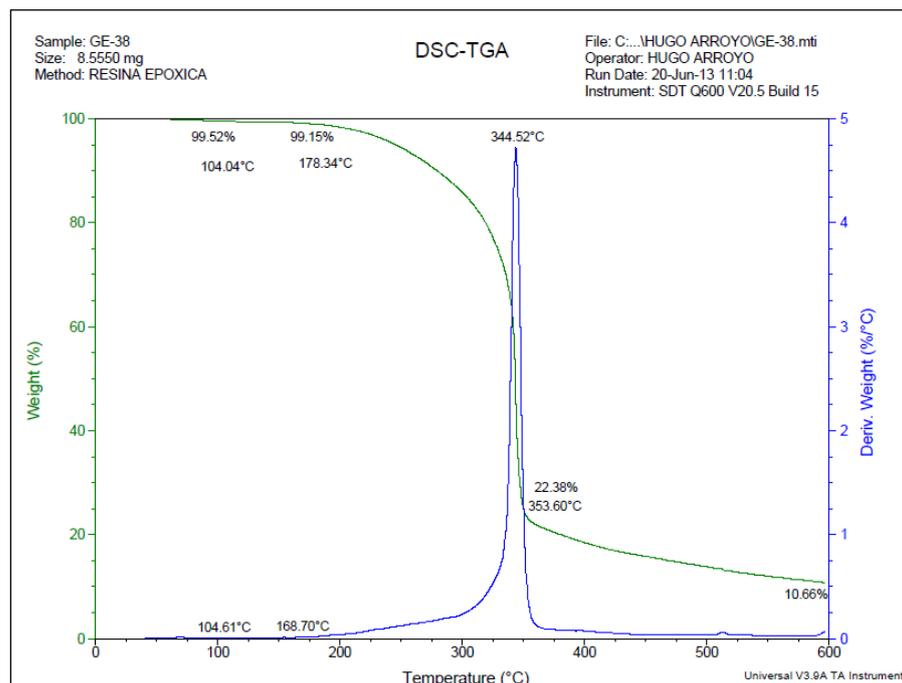


FIGURA 4.149 TGA DE RESINA EPÓXICA GE-38 PURA

En el análisis TG y DTG realizado en la Figura 4.149 se observó que la pérdida de masa de agua libre es muy pequeña, alrededor de los 100°C se registró una disminución de 0.48% de masa total de la resina. Además la pérdida de masa orgánica ocurre aproximadamente desde 178.34°C hasta 353.60°C obteniendo una pérdida de 76.77% de masa total de resina, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 344.52°C, este pico representa la degradación térmica máxima de la resina, etapa en la cual se puede apreciar una

pérdida significativa de masa. Por último se pudo observar que aproximadamente a los 353.60°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual representa una pérdida de masa nada despreciable de alrededor del 11.72% de la masa total de resina.

En conclusión la masa total perdida en el ensayo es de 89.34% a los 600°C.

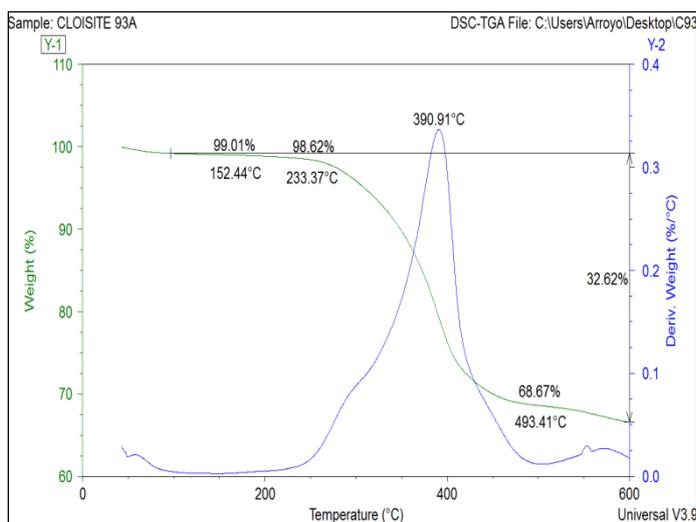


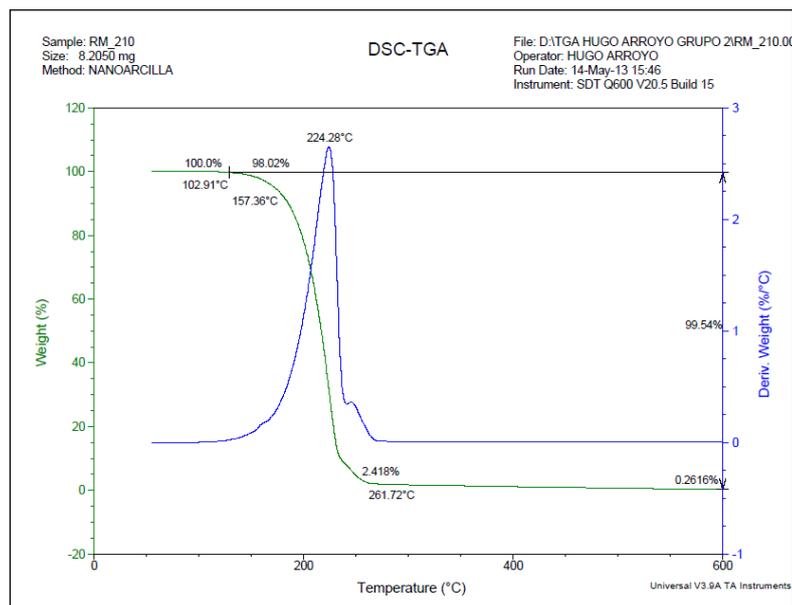
FIGURA 4.150 TGA DE C93A

En La Figura 4.150 se observó la pérdida de masa de H₂O alrededor de los 100°C registrándose una disminución de 0.99% de masa de la resina. Además la pérdida de masa orgánica ocurre aproximadamente desde 223.37°C hasta 493.41°C obteniendo una

pérdida de 27.95% de masa, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura endotérmica (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 390.91°C temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa de resina.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 394.33°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, los cuales pertenecen a los grupos estructurales (OH) el cual representa pérdida considerable de masa (1.93% de la masa de resina).

En conclusión la masa final perdida en el ensayo es de 32.62% a los 600°C.



**FIGURA 4.151 TGA DEL INHIBIDOR DE CORROSIÓN
 CARBOXILATO DE AMINO (RM210)**

En La Figura 4.151 se observó la pérdida de masa de H₂O alrededor de los 102.91°C registrándose una disminución de 0% de masa de la resina ya que no presenta agua libre en su composición. Además la pérdida de masa orgánica ocurre aproximadamente desde 157.36°C hasta 261.72°C obteniendo una pérdida de 93.6% de masa, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura endotérmica (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 224.28°C temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa de resina.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 224.28°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, los cuales pertenecen a los grupos estructurales (OH) el cual representa pérdida considerable de masa (2.1564% de la masa de resina).

En conclusión la masa final perdida en el ensayo es de 99.54% a los 600°C.

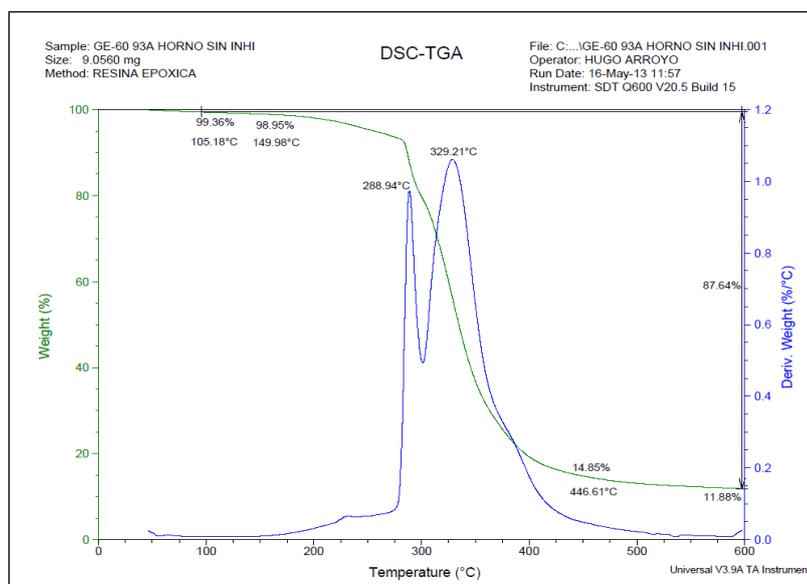


FIGURA 4.152 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-60, NANOARCILLA CLOISITE 93A AL 5%, CON HORNO Y SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN.

El análisis de la figura 4.152 es muy parecido a la de la mezcla de la resina con la nanoarcilla sin el tratamiento de un día de secado en el horno a 70°C provocando una disminución de la humedad en la primera parte de la gráfica haciendo presente un 0.17% a la misma temperatura. Se aprecia que comparando con el gráfico anterior la humedad ha disminuido. Sus picos de degradación térmica presentan sus máximos en 289°C en la degradación de la Resina y 330°C por parte de la nanoarcilla C93A.

En la parte de la descomposición orgánica su rango es de 150°C a 447°C con una pérdida de masa 84.1% y un residual orgánico de 3%, obteniendo al final una pérdida total de 87.64% de la masa de la mezcla apreciando una menor pérdida con respecto a la mezcla sin tratar en el horno.

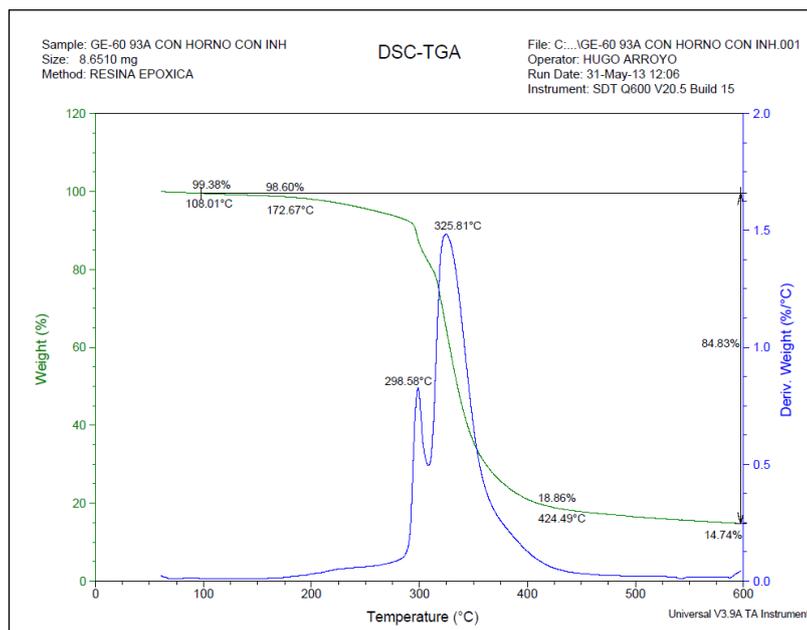


FIGURA 4.153 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-60, NANOARCILLA CLOISITE 93A AL 5%, CON HORNO Y CON PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

El análisis de la figura 4.153 es muy parecida a la anterior (GE-60 C93A con inhibidor sin tratamiento de horno), la pérdida de agua libre cercano a los 100°C es de 0.62% observando una baja sustancial con el anterior proceso.

Los picos son bastante parecidos a los anteriores y sus degradaciones comienzan muy cercanas a las anteriores la pérdida porcentual de orgánicos es de 79.74% desde los 172°C hasta los

425°C, por la presencia de la descomposición de inhibidor RM-210 que ocurre a los 120°C.

Se aprecia menor presencia de residuos orgánicos cercanos a 3% y una pérdida total de masa del 84.83% menor a la del tratamiento anterior.

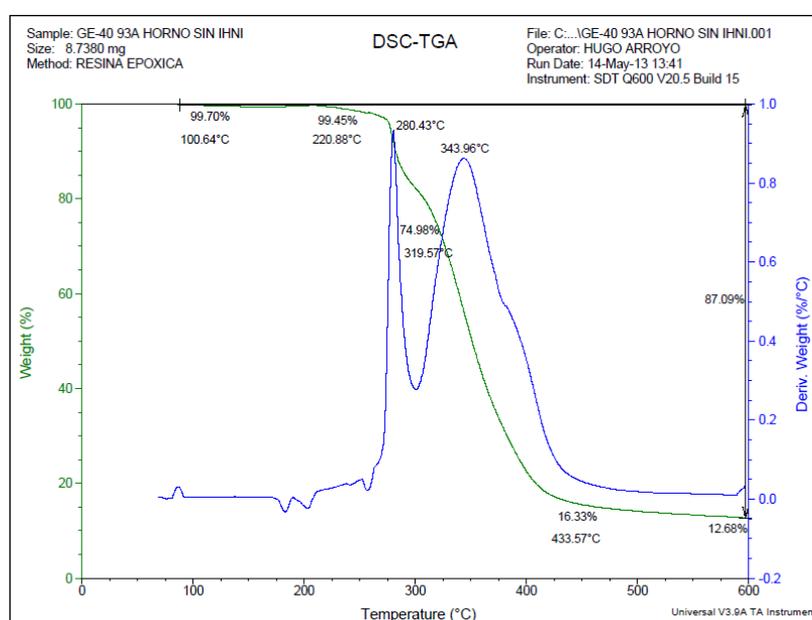


FIGURA 4.154 TGA DE LA MEZCLA ENTRE, RESINA GE-40 Y ORGANOARCILLA 93A PRECALENTADA EN HORNO Y SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

Se puede apreciar que la pérdida de masa de agua libre alrededor de los 100.64°C es de 0.30% de masa de la mezcla, la pérdida de masa orgánica ocurre desde 220.88°C hasta 433.57°C obteniendo

una pérdida de 83.12% de masa, dicha masa perdida pertenece a la resina y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 280.43°C temperatura en la cual se da una pérdida significativa de masa del compuesto.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 433.57°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa, la cual es de 3.65%.

En conclusión la masa final perdida en el ensayo es de 87.09% a los 600°C.

Al comparar la Figura 4.153 con la Figura 4.154 se pudo determinar que el inhibidor de corrosión aumenta la máxima temperatura de degradación, pero también la pérdida de masa de residuos orgánicos, debido a que el inhibidor de corrosión es orgánico.

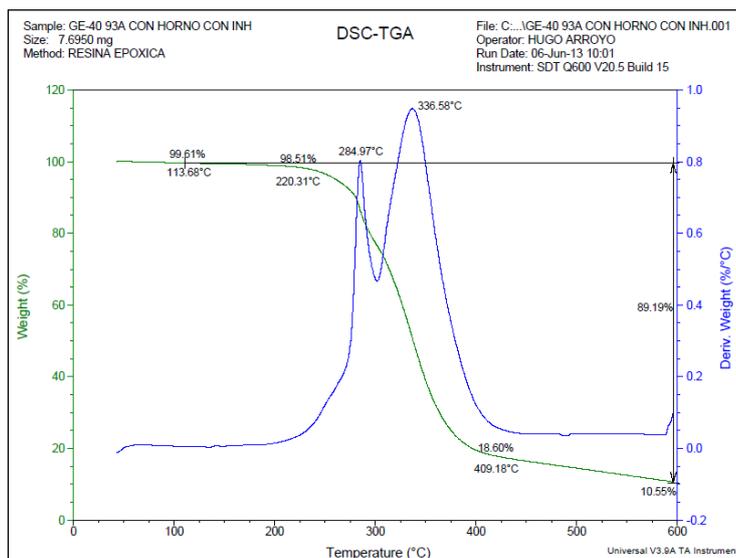


FIGURA 4.155 TGA DE LA MEZCLA ENTRE, RESINA GE-40 Y ORGANOARCILLA 93A PRECALENTADA EN HORNO Y CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En La Figura 4.155 la pérdida de masa de H₂O alrededor de los 113°C es de 0.39% de masa de la mezcla, la pérdida de masa orgánica ocurre desde 220.31°C hasta 409.18°C dándose una pérdida de 77,91% de masa total, dicha masa perdida pertenece a la resina, inhibidor de corrosión y arcilla que son parte del compuesto orgánico, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 284.97°C temperatura en la cual comienza una pérdida significativa de masa del compuesto, esto corresponde a la degradación de la Resina

Epóxica; el segundo pico dado en 336.58°C es asociado con la degradación de la parte de la Organoarcilla.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 409.18°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, los cuales pertenecen a los grupos estructurales (OH) el cual representa pérdida considerable de masa que es de 8.05%.

En conclusión la masa final perdida en la prueba (H₂O, orgánicos, residuos orgánicos OH) es de 89.19% a los 600°C.

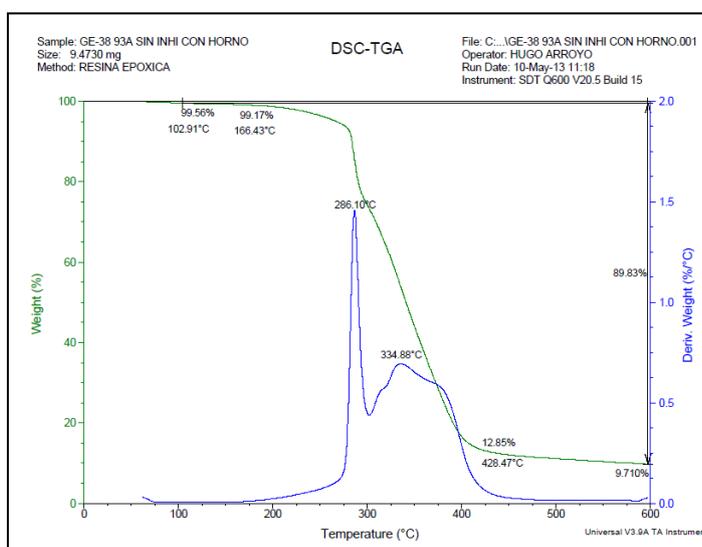


FIGURA 4.156 TGA DE LA MEZCLA ENTRE, RESINA GE-38 Y ORGANOARCILLA 93A PRECALENTADA EN HORNO Y SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En La Figura 4.156 se observó la presencia de dos picos de descomposición máximos en la zona de degradación, como se mencionó anteriormente, la degradación para la resina Epóxica y la arcilla C93A comienza alrededor de los 200°C, tanto la resina como la arcilla muestran picos máximos de temperatura de degradación que empiezan a 334°C y 392°C respectivamente, entonces estos dos picos deberían ser la degradación tanto de la resina GE-38 como la organoarcilla C93A mezclados, el ensayo realizado no ayuda a identificar con precisión los componentes de cada pico.

Además se observó que la pérdida de masa de agua libre es poca, ya que alrededor de los 100°C se registró una disminución de 0.44% de masa total de la mezcla, por otro lado la pérdida de masa orgánica ocurre desde 166.43°C hasta 428.47°C obteniendo una pérdida de 86.32% de masa total de la mezcla, dicha masa perdida pertenece a la resina y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 286.10°C temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa del compuesto.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 428,27°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la

degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa (3.14% de la masa) [17].

En conclusión la masa final perdida en el ensayo es de 89.83% a los 600°C.

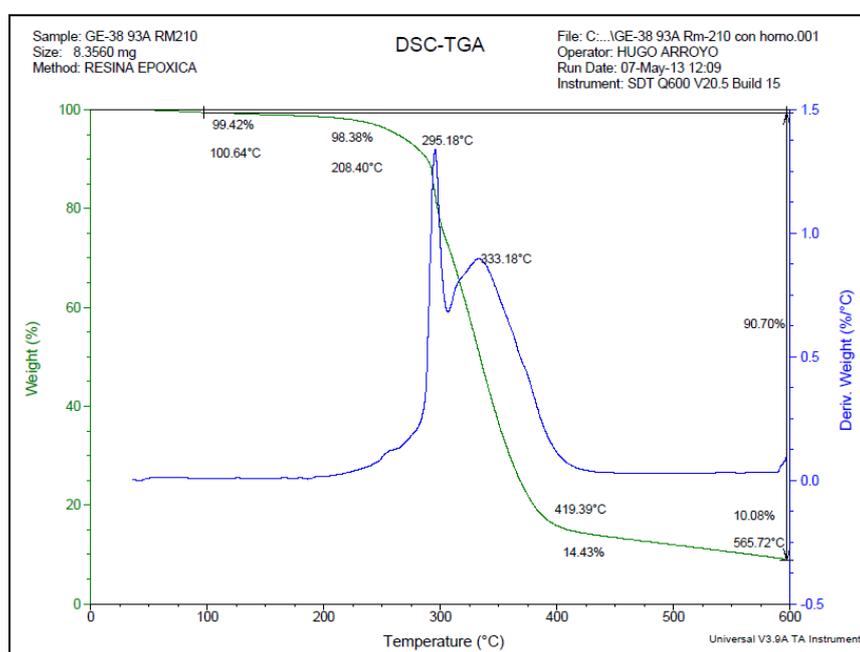


FIGURA 4.157 TGA DE LA MEZCLA ENTRE, RESINA GE-38 Y ORGANOARCILLA 93A PRECALENTADA EN HORNO Y CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

El análisis es similar que el anterior con la excepción que en esta mezcla se añadió el inhibidor de corrosión, cuya degradación comienza alrededor de 120°C y presenta un pico de degradación a

los 225°C, al igual que el anterior existen dos picos, como ya se mencionó la primera curva es atribuida a la degradación de la resina, pero con la particularidad que la temperatura de degradación es mayor en presencia del inhibidor (295°C) en comparación de la temperatura de degradación en ausencia de inhibidor (286°C), el segundo pico se lo atribuye a la degradación de la arcilla cuya temperatura máxima de degradación es de 333°C y en comparación con la gráfica anterior se puede observar una disminución de temperatura, ya que la anterior fue de 334°C dado que aquí se añade la descomposición del inhibidor que ocurre aproximadamente a los 120°C.

Por otro lado, se observó que la pérdida de masa de agua libre es muy poca, ya que alrededor de los 100.64°C se registró una disminución de 0.58% de masa de la mezcla. Además la pérdida de masa orgánica ocurre desde 208.40°C hasta 419.39°C obteniendo una pérdida de 83.95% de masa total de la mezcla, dicha masa perdida pertenece a la resina, inhibidor de corrosión y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del

peso) que es de 295.18°C temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa del compuesto.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 419.39°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa (4.35% de la masa).

Al final se tiene una pérdida de masa total en el ensayo (H₂O, orgánicos, residuos orgánicos OH) de 90.70% a los 600°C.

Al comparar la Figura 4.156 con la Figura 4.157 se pudo determinar que el inhibidor de corrosión aumenta la máxima temperatura endotérmica, pero también la pérdida de masa de residuos orgánicos, debido a que el inhibidor de corrosión es un elemento orgánico.

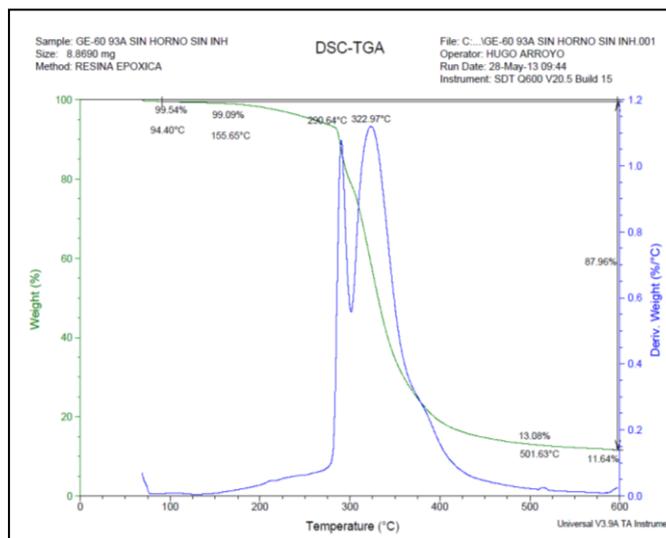


FIGURA 4.158 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-60, NANOARCILLA CLOISITE 93A AL 5%, SIN HORNO Y SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En la Figura 4.158 lo que llama la atención es la presencia de dos picos de descomposición máximos en dos zonas de degradación. Como se demostró en la figura inicial la resina GE-60 y la C93A empiezan a degradarse a los 200°C como lo se observa en la figura 12, sin embargo la degradación máxima se muestra a 334°C y 392°C correspondiente a las resinas y la organoarcillas, correspondiente. Estos dos picos son resultado de la degradación tanto de las resinas GE-60 como de la organoarcillas C93A, mezclados, es difícil identificar los componentes de cada pico con esta metodología.

Así mismo presenta una degradación cercana a los 100°C producto de la pérdida del agua libre poco significativa. (0.46% la pérdida de masa), en la parte de los orgánicos existe una pérdida del 86% de la masa original comenzando su descomposición alrededor de los 200°C. En la última parte se aprecia la degradación final de los orgánicos que no es significativa, apenas un 1.44% de la masa. Al pasar por las tres etapas de su análisis la muestra presentó una disminución del 88% de su masa a los 600°C.

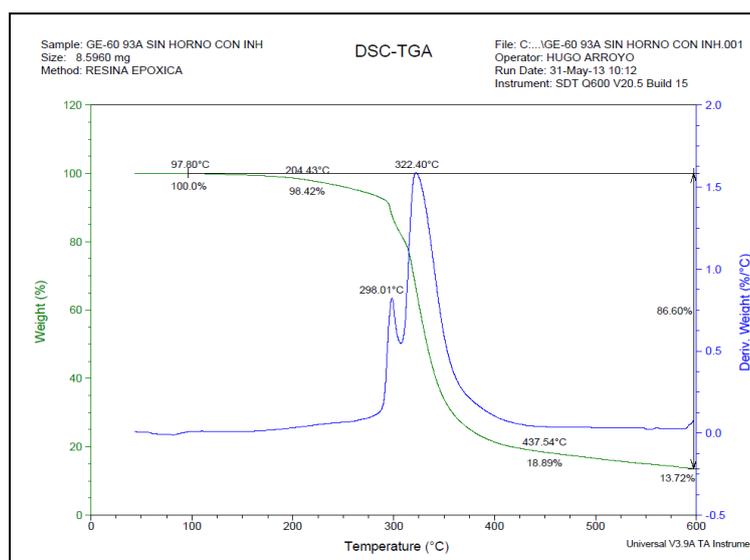


FIGURA 4.159 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-60, NANOARCILLA CLOISITE 93A AL 5%, SIN HORNO Y CON PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN AL 1%

Así mismo se conoce ya el significado de los dos picos de la degradación térmica observados en la figura 4.159; el primero ocurre

a los 298°C atribuyéndole la curva a la descomposición de la Resina GE-60, sin embargo a esta temperatura es mayor que el pico que se observa 298°C cuando no estaba presente el inhibidor en la mezcla, sin embargo el segundo pico a la degradación de la Nanoarcilla C93A con un máximo de 322°C, (menor que la gráfica anterior) aquí también se añade la descomposición de inhibidor RM-210 que ocurre a los 120°C su comportamiento se lo puede apreciar en la figura 4.151.

La mezcla presenta una disminución del 1.6% en la primera parte de la gráfica que es la pérdida del agua en la mezcla, la pérdida de la parte orgánica es de 79.53% (desde 200°C a 440°C), en la última parte se observa los residuos de la parte orgánica, la pérdida total de masa en la mezcla es de 86.60%.

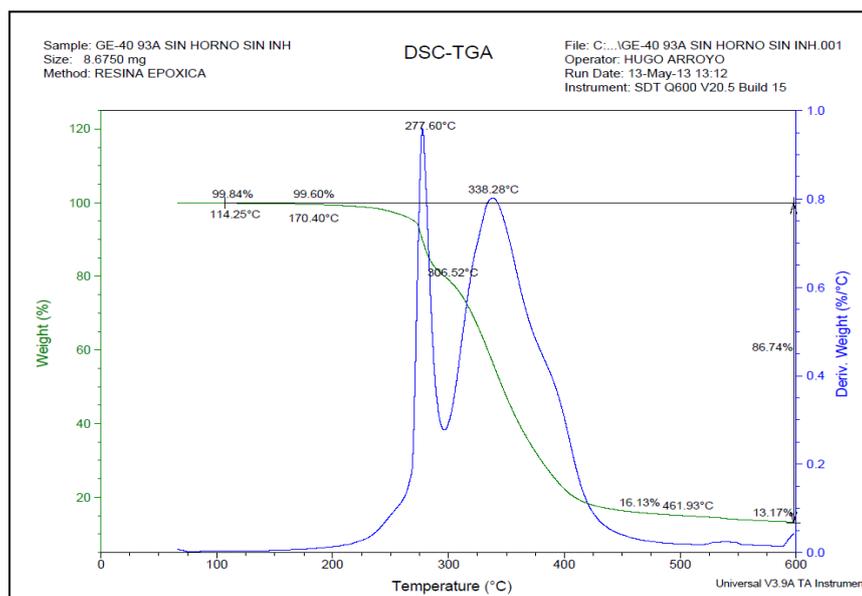


FIGURA 4.160 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-40, NANOARCILLA CLOISITE 93A AL 5%, SIN HORNO Y SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En el análisis de la figura 4.160 se puede apreciar dos picos de degradación térmica claramente notables el primer pico le pertenece a la resina GE-40 y la segunda a la nanoarcilla pero este pico posee una particularidad, es un multipico, esto quiere decir que además de la degradación de la arcilla existe una degradación de algún compuesto que bajo este análisis no se lo puede determinar pero que si se lo puede apreciar posiblemente de un compuesto creado por la mezcla de la resina y la arcilla.

Presenta una pérdida de agua libre del 0.16% y una pérdida de masa de la degradación orgánica de 83.47% entre los valores de 200°C y 450°C se puede observar que el pico térmico de la resina es mayor a la de la degradación de la arcilla (a diferencia de la misma mezcla con la resina GE-60), se observa que no hay pérdida de masa significativa del residual de resina con arcilla y además se aprecia una pérdida de masa total de 86.74%.

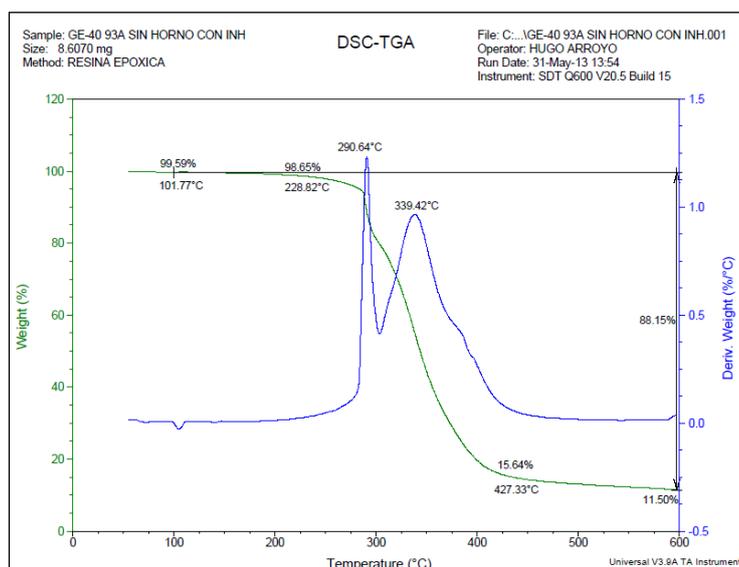


FIGURA 4.161 TGA DE LA MEZCLA ENTRE, RESINA GE-40 Y ORGANOARCILLA 93A SIN HORNO Y CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

Al igual que los gráficos anteriores, se puede apreciar que la pérdida de masa de H₂O alrededor de los 101.77°C es de 0.41% de

masa de la mezcla. Además la pérdida de masa orgánica ocurre desde 228.82°C hasta 427.33°C obteniendo una pérdida de 81.01% de masa, dicha masa perdida pertenece a la resina, inhibidor de corrosión y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 290.64°C temperatura en la cual se puede apreciar el comienzo de una pérdida significativa de masa del compuesto.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 427.33°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa que es de 4.14%. En conclusión la masa final perdida en la prueba (H₂O, orgánicos, residuos orgánicos OH) es de 88.15% a los 600°C. Al comparar la Figura 4.155 con la Figura 4.161 se pudo observar que la perdida inicial de masa que corresponde al Agua es mayor en el caso de la Figura 4.161 esto se debe a que la arcilla no fue precalentada en el horno, por lo cual inicialmente tiene mayor humedad. Además se pudo observar que la máxima temperatura de degradación se da cuando la arcilla no

fue precalentada, ya que se necesita mayor energía para degradar el compuesto.

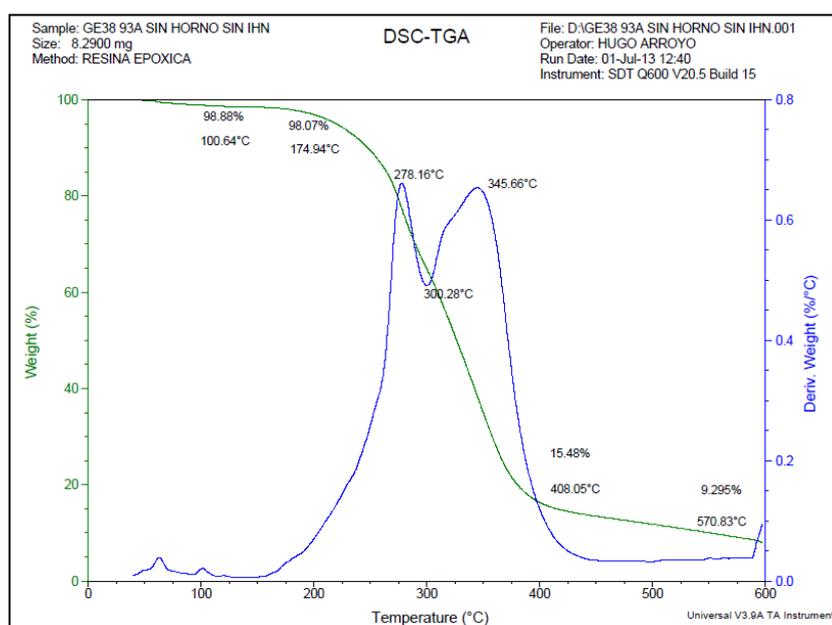


FIGURA 4.162 TGA DE LA MEZCLA ENTRE, RESINA GE-38 Y ORGANOARCILLA 93A SIN HORNO Y SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

El análisis de esta gráfica es muy similar a las otras, pero con la excepción de que la arcilla no fue precalentada en horno a 70°C.

En La Figura 4.162 se observó la pérdida de masa de agua libre a los 100.64°C registrándose una disminución de 1.12% de masa de la mezcla. Además la pérdida de masa orgánica ocurre desde 174.94°C hasta 408.05°C obteniendo una pérdida de 82.59% de masa, dicha masa perdida pertenece a la resina y arcilla que son

parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 278.16°C temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa del compuesto.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 408.05°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa (6.18% de la masa).

En conclusión la masa final perdida en la prueba (H₂O, orgánicos, residuos orgánicos OH) es de 89.95% a los 600°C.

Al comparar la Figura 4.156 con la Figura 4.162 se pudo observar que la pérdida inicial de masa que corresponde al agua, es mayor en el caso de la Figura 4.162 esto se debe a que la arcilla no fue precalentada, por lo cual inicialmente tiene mayor humedad. Además se pudo observar que la máxima temperatura de degradación debería ser mayor cuando la arcilla no fue precalentada, ya que se necesita mayor energía para degradar el compuesto, pero de acuerdo a las gráficas mostradas esto no se cumple puesto que en la Figura 4.156 se utilizó mayor cantidad de mezcla en comparación con la Figura 4.162

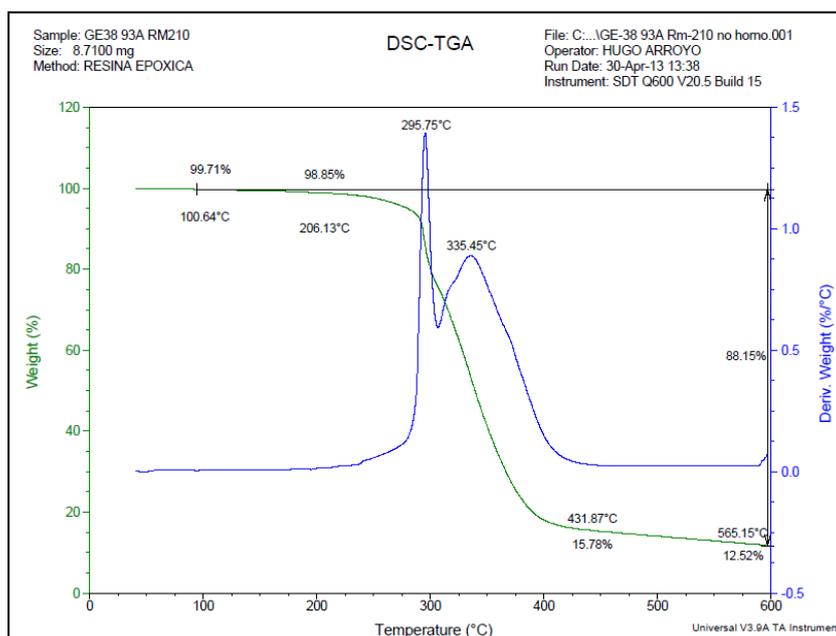


FIGURA 4.163 TGA DE LA MEZCLA ENTRE, RESINA GE-38 Y ORGANOARCILLA 93A SIN HORNO Y CON INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En La Figura 4.163 se observó la pérdida de masa de agua alrededor de los 100.64°C registrándose una disminución de 0.29% de masa de la mezcla. Además la pérdida de masa orgánica ocurre desde 206.13°C hasta 431.87°C obteniendo una pérdida de 81.07% de masa, dicha masa pérdida pertenece a la resina, inhibidor de corrosión y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura

vs la derivada del peso) que es de 295.75°C temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa del compuesto. Por último se pudo observar que aproximadamente desde 431.87°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa (3.26% de la masa).

En conclusión la masa final perdida en la prueba es de 88.15% a los 600°C.

Al comparar la Figura 4.157 con la Figura 4.163 se pudo determinar que el inhibidor de corrosión aumenta la máxima temperatura de degradación, pero también la pérdida de masa de residuos orgánicos, debido a que el inhibidor de corrosión es un elemento orgánico.

Se pudo observar que la máxima temperatura de degradación es mayor cuando la arcilla no fue precalentada, ya que se necesita mayor energía para degradar el compuesto.

- **ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS CON LA NANOARCILLA 30B**

Cabe recalcar que para el análisis de la mezcla con la Nanoarcilla C30B se hicieron los ensayos directamente con el tratamiento térmico de la arcilla, ya que presentaron mejores resultados que los ensayos realizados sin este proceso.

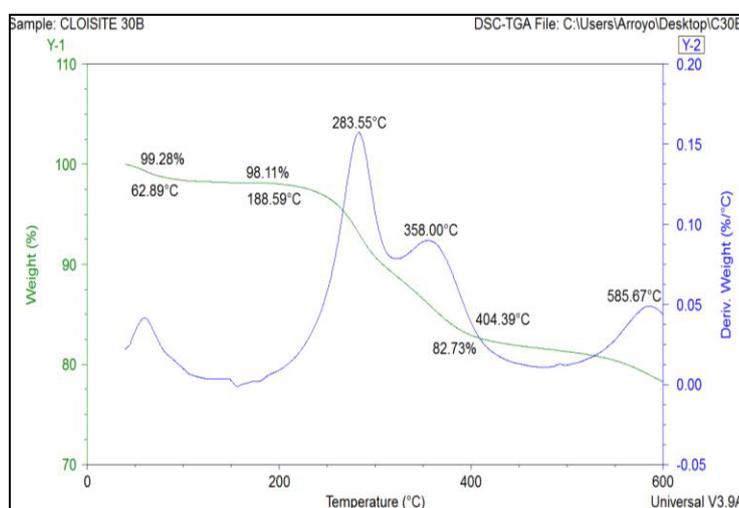


FIGURA 4.164 TGA DE NANOARCILLA C30B

En La Figura 4.164 se observó la pérdida de masa de H₂O alrededor de los 100°C registrándose una disminución de 0.72% de masa de la resina. Además la pérdida de masa orgánica ocurre aproximadamente desde 158.59°C hasta 404.39°C obteniendo una pérdida de 13.38% de masa, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura endotérmica (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 283.55°C

temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa de resina.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 404.39°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, los cuales pertenecen a los grupos estructurales (OH) el cual representa pérdida considerable de masa (4.24% de la masa de resina).

En conclusión la masa final perdida en el ensayo es de 25.51% a los 600°C.

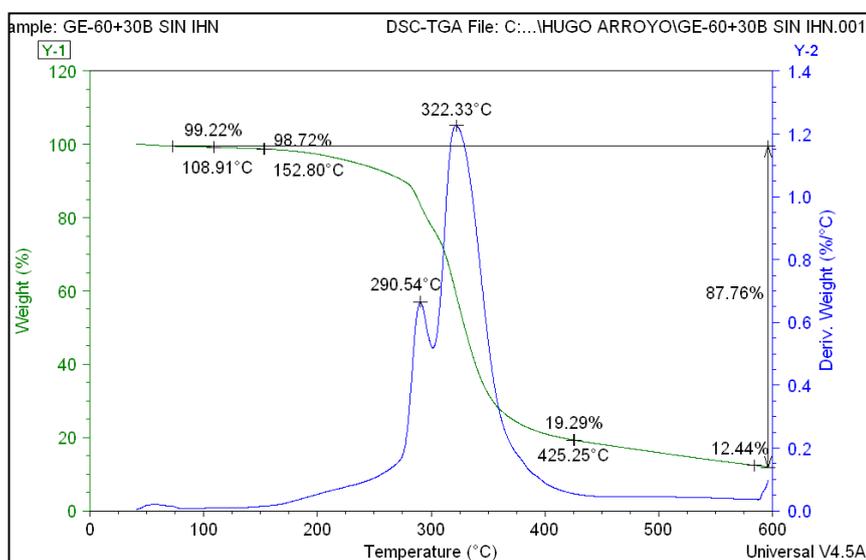


FIGURA 4.165 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-60, NANOARCILLA CLOISITE 30B AL 5%, CON HORNO Y SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En La Figura 4.165 se observó la pérdida de masa de H₂O o agua libre alrededor de los 108.91°C registrándose una disminución de 0.78% de masa de la resina ya que no presenta un porcentaje significativo de agua libre en su composición. Además la pérdida de masa orgánica ocurre aproximadamente desde 152.8°C hasta 425.25°C obteniendo una pérdida de 79.93% de masa, además en esta parte del proceso se puede apreciar el primer pico de temperatura endotérmica (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que fue de 290.54°C temperatura en la cual se pudo verificar una pérdida significativa de masa que fue atribuida a la degradación de un nuevo compuesto formado por la combinación de la Resina Epóxica con la nanoarcilla observado una degradación temprana del compuesto comparadas con las bases de la mezcla. Al analizar el siguiente pico se observó apreciar una pérdida significativa de los compuestos formados con resina y arcilla; y el segundo pico endotérmico que fue de 322.33°C.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 224.28°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que empezaron a descomponer en la etapa anterior, los cuales pertenecen a los grupos estructurales (OH) el cual representa pérdida considerable de masa (6.85% de la masa de resina).

En conclusión la masa final perdida en el ensayo es de 87.76% a los 600°C, además se observó un cambio en los picos de la degradación de la mezcla en comparación con el análisis individual de sus componentes, concluyendo así que hubo una intercalación de la mezcla mejorando sus propiedades térmicas.

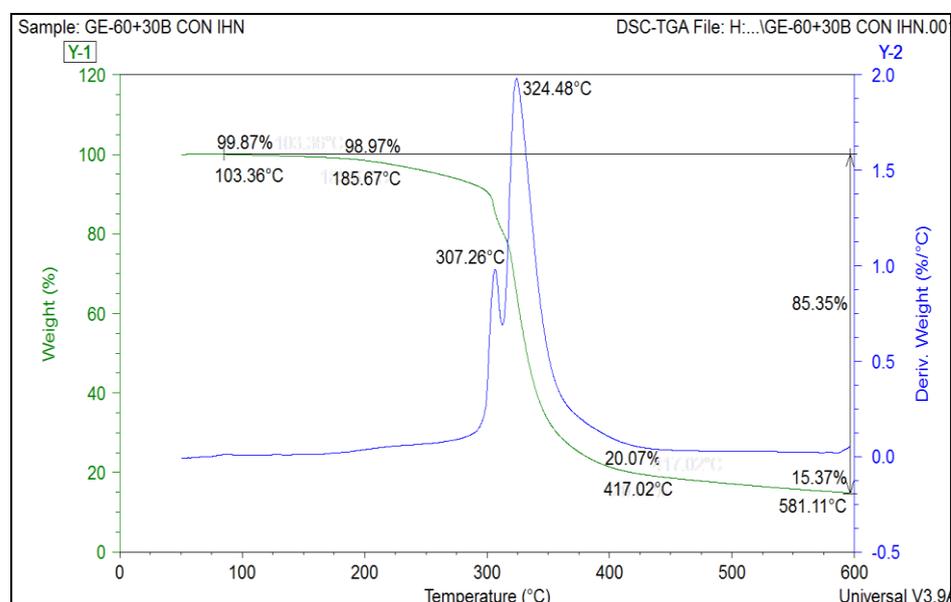


FIGURA 4.166 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-60, NANOARCILLA CLOISITE 30B AL 5%, CON HORNO Y CON PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En La Figura 4.166 se observó la presencia de dos picos de descomposición máximos en la zona de degradación, como se mencionó anteriormente, la degradación para la resina Epóxica y la

arcilla C30B comienza alrededor de los 200°C, tanto el inhibidor de corrosión como la arcilla, arcilla y orgánicos muestran picos máximos de temperatura de degradación que empiezan desde 307.26°C temperatura en la cual se puede observar una pérdida significativa de masa del nuevo compuesto formado por la interacción de la resina con el inhibidor de corrosión, el nuevo compuesto tuvo una temperatura de degradación menor que la temperatura de la resina pero superior a la temperatura del inhibidor.

A demás se observó a los 324.48°C, la degradación de los compuestos formados con la Organoarcilla. Entonces estos dos picos deberían ser la degradación tanto del inhibidor como de la resina GE-60 y la Organoarcilla C30B y los derivados producidos por su mezclado (intercalación de las láminas de arcilla con el inhibidor de corrosión), el ensayo realizado no ayuda a identificar con precisión los componentes de cada pico. Se observó que en el inhibidor de corrosión se aprecia una degradación pico a los 307°C y en la mezcla de la Resina con organoarcilla a los 324°C, al mezclar estos dos componentes se puede apreciar que existe una degradación temprana de la resina y arcilla.

Además se observó que la pérdida de masa de agua libre fue poca, ya que alrededor de los 100°C se registró una disminución de

0.13% de masa total de la mezcla, por otro lado la pérdida de masa orgánica ocurre desde 185.67°C hasta 417.02°C obteniendo una pérdida de 79.8% de masa total de la mezcla, dicha masa perdida pertenece a la resina y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que fue de 324.48°C temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa del compuesto.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 417.02°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa (4.7% de la masa) [17].

En conclusión la masa final pérdida en el ensayo fue de 85.35% a los 600°C, hubo una intercalación en las láminas de la Nanoarcilla desplazándolas y mejorando las propiedades térmicas de la mezcla.

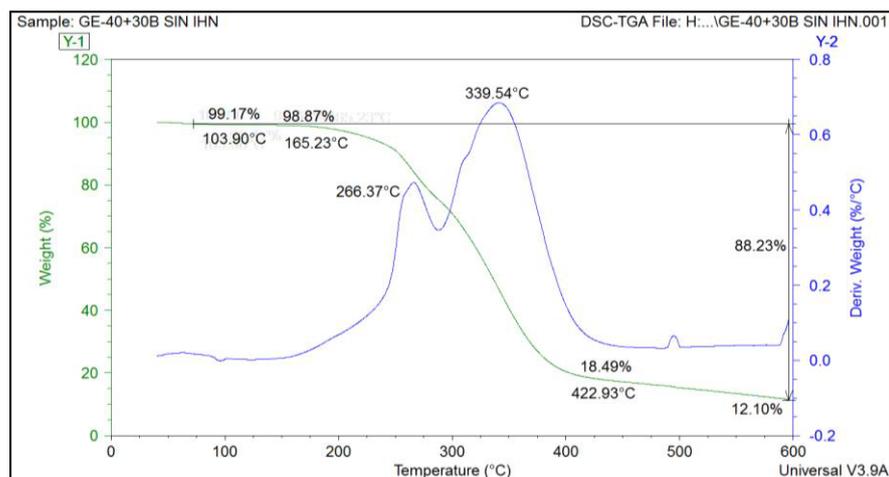


FIGURA 4.167 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-40, NANOARCILLA CLOISITE 30B AL 5%, CON HORNO Y SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En La Figura 4.167 se observó la pérdida de masa de agua libre a los 103.90°C registrándose una disminución de 0.83% de masa de la mezcla. Además la pérdida de masa orgánica ocurre desde 165.23°C hasta 422.93°C por lo que se obtuvo una pérdida de 80.68% de masa, dicha masa perdida pertenece a la resina y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 266.37°C temperatura en la cual se pudo verificar una pérdida significativa de masa que fue atribuida a la degradación de un nuevo compuesto formado por la combinación de la Resina

Epóxica con la Nanoarcilla observado una degradación temprana del compuesto comparadas con las bases de la mezcla.

Al analizar el siguiente pico se puede apreciar una pérdida significativa de los compuestos formados con resina y arcilla; y el segundo pico endotérmico que fue de 322.33°C.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 422.93°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa (6.39% de la masa).

En conclusión la masa final perdida en el ensayo es de 88.23% (H₂O, orgánicos, residuos orgánicos OH) a los 600°C, además se observó un cambio en los picos de la degradación de la mezcla en comparación con el análisis individual de sus componentes, concluyendo así que hubo una intercalación de la mezcla mejorando sus propiedades térmicas.

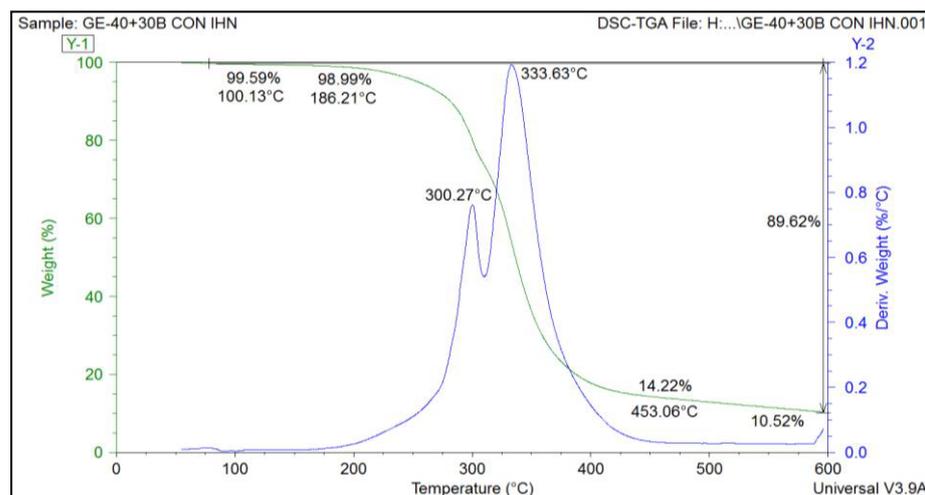


FIGURA 4.168 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-40, NANOARCILLA CLOISITE 30B AL 5%, CON HORNO Y CON PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

El análisis fue similar que el anterior con la excepción que en esta mezcla se añadió el inhibidor de corrosión, cuya degradación comienza alrededor de 120°C y presenta un pico de degradación a los 300.27°C, al igual que el anterior existen dos picos, como ya se mencionó la primera curva es atribuida los nuevos compuestos formados por la mezcla del inhibidor con la resina y la nanoarcilla, se observó también que la temperatura de degradación de estos nuevos compuestos mejoran la temperatura de degradación de la mezcla, pero con la particularidad que la temperatura de degradación es mayor en presencia del inhibidor (300.27°C) en

comparación de la temperatura de degradación en ausencia de inhibidor (266.37°C), el segundo pico se lo atribuye a la degradación de la arcilla, resina y OH cuya temperatura máxima de degradación es de 333.63°C y en comparación con la gráfica anterior se pudo observar una disminución de temperatura, ya que la anterior fue de 339.54°C dado este fenómeno se pudo concluir que existió una interacción en la mezcla.

Por otro lado, se observó que la pérdida de masa de agua libre es muy poca, ya que alrededor de los 100.13°C se registró una disminución de 0.41% de masa de la mezcla. Además la pérdida de masa orgánica ocurre desde 186.21°C hasta 453.06°C obteniendo una pérdida de 85.37% de masa total de la mezcla, dicha masa perdida pertenece a la resina, inhibidor de corrosión y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que es de 333.63°C temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa del compuesto.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 453.06°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a

descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa (3.7% de la masa).

Al final se tiene una pérdida de masa total en el ensayo (H₂O, orgánicos, residuos orgánicos OH) de 89.62% a los 600°C.

Al comparar con las gráficas de los compuestos por separado pudo determinar que el inhibidor de corrosión aumenta la máxima temperatura endotérmica, pero también la pérdida de masa de residuos orgánicos, debido a que el inhibidor de corrosión es un elemento orgánico.

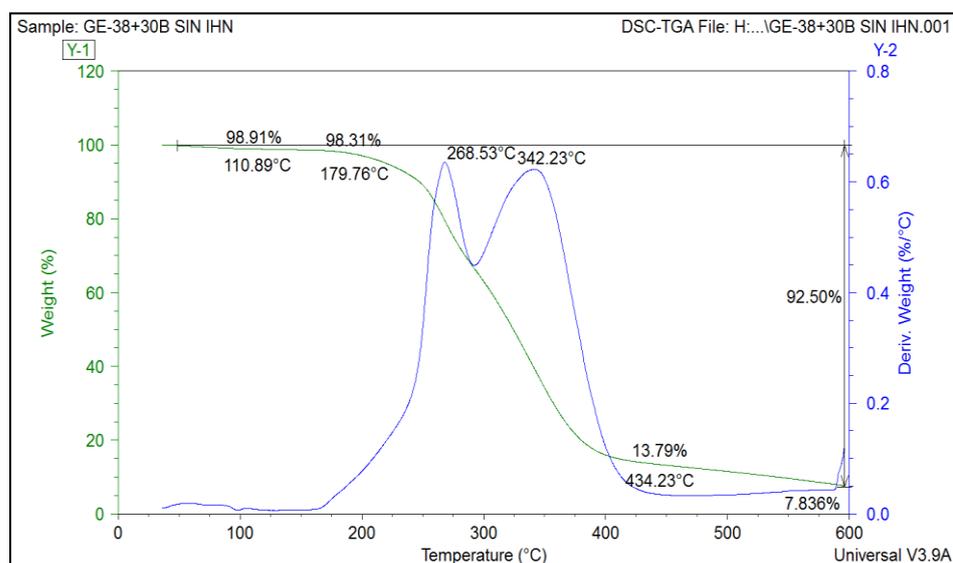


FIGURA 4.169 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-38, NANOARCILLA CLOISITE 30B AL 5%, CON HORNO Y SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En La Figura 4.169 se observó una disminución de masa de agua libre a los 110.89°C registrándose una disminución de 1.08% de masa de la mezcla. Además la pérdida de masa orgánica ocurre desde 179.76°C hasta 434.23°C observando una merma de 85.12% de masa, dicha masa perdida pertenece a la resina y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se pudo apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso) que fue de 268.53°C temperatura en la cual se pudo verificar una pérdida significativa de masa que fue atribuida a la degradación de un nuevo compuesto formado por la combinación de la Resina Epóxica con la Nanoarcilla observado una degradación temprana del compuesto comparadas con las bases de la mezcla.

Al analizar el siguiente pico se observó apreciar una pérdida significativa de los compuestos formados con resina y arcilla; y el segundo pico endotérmico que fue de 342.23°C.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 434.23°C en adelante (600°C) hubo una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa (5.954% de la masa).

En conclusión la masa final perdida en la prueba (H₂O, orgánicos, residuos orgánicos OH) es de 92.5% a los 600°C además hubo una intercalación en las láminas de la Nanoarcilla desplazándolas y mejorando las propiedades térmicas de la mezcla.

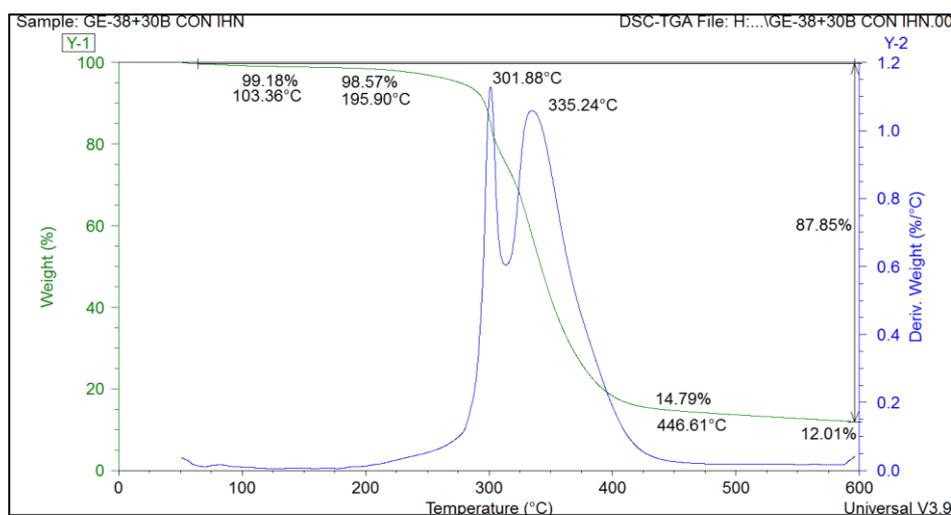


FIGURA 4.170 TGA DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-38, NANOARCILLA CLOISITE 30B AL 5%, CON HORNO Y CON PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

El análisis fue similar que el anterior con la excepción que en esta mezcla se añadió el inhibidor de corrosión, cuya degradación comienza alrededor de 120°C y presenta un pico de degradación a los 240°C, al igual que el anterior existen dos picos, como ya se mencionó la primera curva es atribuida los nuevos compuestos formados por la mezcla del inhibidor con la resina y la nanoarcilla,

se observó también que la temperatura de degradación de estos nuevos compuestos mejoran la temperatura de degradación de la mezcla, pero con la particularidad que la temperatura de degradación es mayor en presencia del inhibidor (301.88°C) en comparación de la temperatura de degradación en ausencia de inhibidor (268.23°C), el segundo pico se lo atribuye a la degradación de la arcilla, resina y OH cuya temperatura máxima de degradación es de 335.24°C y en comparación con la gráfica anterior se pudo observar una disminución de temperatura, ya que la anterior fue de 342.23°C dado este fenómeno se pudo concluir que existió una interacción en la mezcla, dado que aquí se añade la descomposición de ciertos compuestos resultados de la interacción de la mezcla.

Por otro lado, se observó que la pérdida de masa de agua libre es muy poca, ya que alrededor de los 103.36°C se registró una disminución de 0.82% de masa de la mezcla. Además la pérdida de masa orgánica ocurre desde 195.9°C hasta 446.61°C obteniendo una pérdida de 84.39% de masa total de la mezcla, dicha masa perdida pertenece a la resina, OH y arcilla que son parte del compuesto orgánico de la mezcla, además en esta parte del proceso se puede apreciar la máxima temperatura de degradación (pico de la curva temperatura vs la derivada del peso)

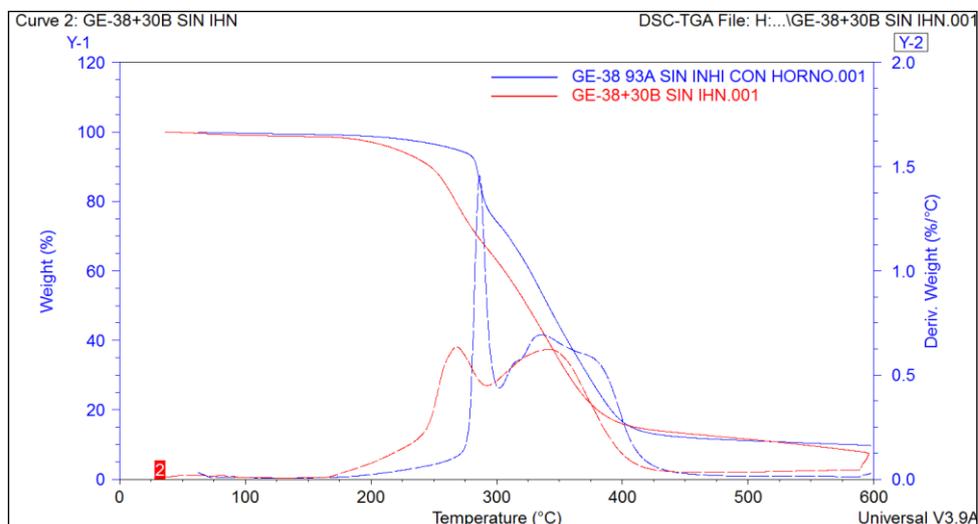
que fue de 301.88°C temperatura en la cual se puede apreciar una pérdida significativa de masa del compuesto.

Por último se pudo observar que aproximadamente desde 446.61°C en adelante (600°C) hay una pérdida de masa debido a la degradación de residuos orgánicos que se comenzaron a descomponer en la etapa anterior, el cual no presenta pérdida considerable de masa (2.78% de la masa).

Al final se tiene una pérdida de masa total en el ensayo (H₂O, orgánicos, residuos orgánicos OH) de 87.85% a los 600°C.

Al comparar la Figura 4.169 con la Figura 4.170 se pudo determinar que el inhibidor de corrosión aumenta la máxima temperatura endotérmica, pero también la pérdida de masa de residuos orgánicos, debido a que el inhibidor de corrosión es un elemento orgánico.

Análisis Comparativo De Las Mezclas Entre La Cloisite 93A Y La 30B



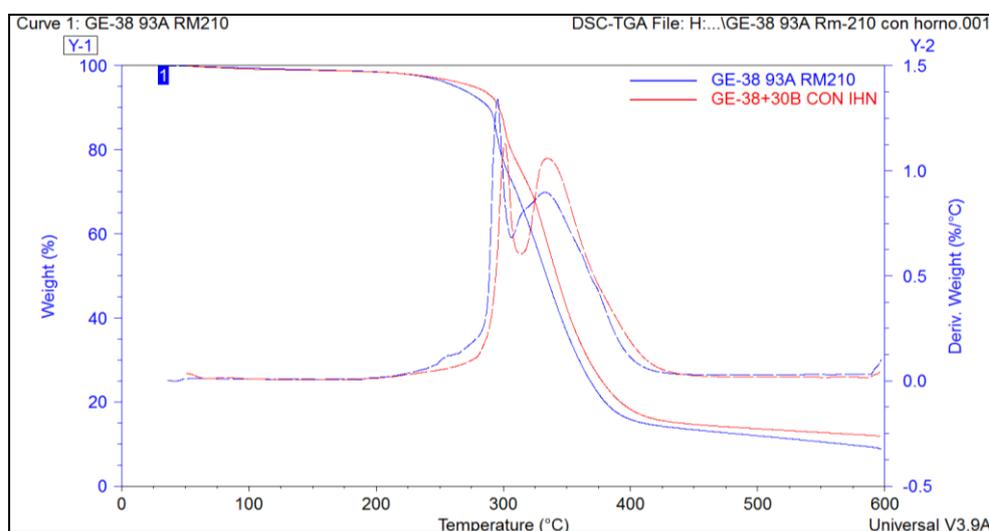
**FIGURA 4.171 TGA COMPARATIVO DE LA MEZCLA ENTRE:
RESINA EPÓXICA GE-38, NANOARCILLA CLOISITE 30B Y 93A
AL 5%, CON HORNO Y SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR DE
CORROSIÓN**

En el análisis comparativo de la Figura 4.171 se observó que la temperatura de degradación de la mezcla con la Resina GE-38 con la Nanoarcilla Cloisite 93A, es mayor, por lo tanto se pudo concluir que dicha mezcla posee una mejor intercalación y espaciamiento interlaminar de las nanoarcilla haciendo que mejoren las propiedades térmicas.

Esto se lo pudo corroborar debido a que la curva de la Nanoarcilla 93A esta desplazada un poco más hacia la derecha concluyendo

que su temperatura de degradación tuvo que ser mayor para su descomposición.

Se concluye que la mejor mezcla entre las diferentes Nanoarcillas fue resina epóxica GE-38 con nanoarcilla Cloisite 93A al 5%, con horno y sin presencia de inhibidor de corrosión.



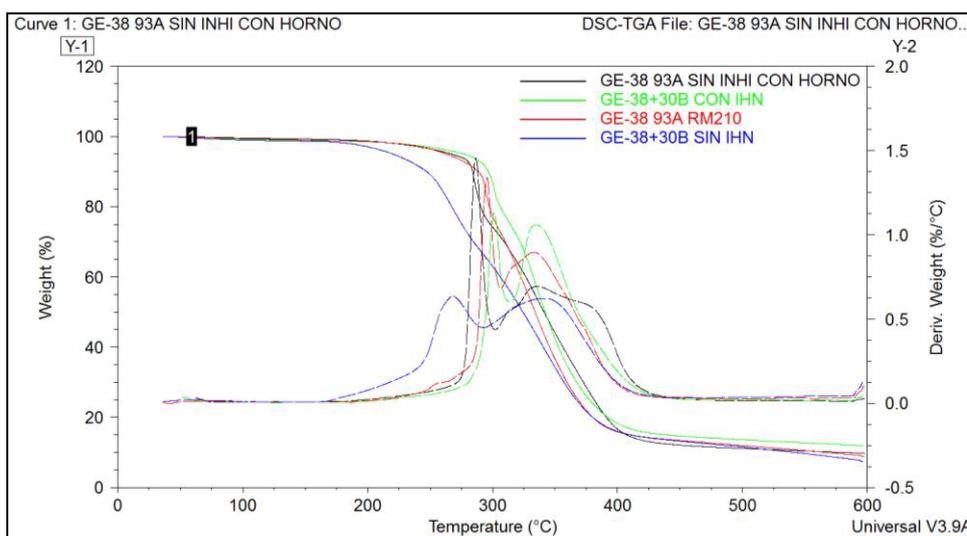
**FIGURA 4.172 TGA COMPARATIVO DE LA MEZCLA ENTRE:
RESINA EPÓXICA GE-38, NANOARCILLA CLOISITE 30B Y 93A
AL 5%, CON HORNO Y CON PRESENCIA DE INHIBIDOR DE
CORROSIÓN**

En el análisis comparativo de la Figura 4.172 se observó que la temperatura de degradación de la mezcla con la Resina GE-38 con la Nanoarcilla Cloisite 30B, es mayor, por lo tanto se pudo concluir

que dicha mezcla posee una mejor intercalación y espaciamiento interlaminar de las nanoarcilla haciendo que mejoren las propiedades térmicas.

Esto se lo pudo corroborar debido a que la curva de la Nanoarcilla 30B esta desplazada un poco más hacia la derecha concluyendo que su temperatura de degradación tuvo que ser mayor para su descomposición.

Se concluyó que la mejor mezcla entre las dos mezclas fue la de resina epóxica GE-38 con nanoarcilla C30B al 5%, con horno y con presencia de inhibidor de corrosión.



**FIGURA 4.173 TGA COMPARATIVO DE TODAS LAS MEZCLA
CON LA RESINA GE-38**

Al observar todas las gráficas de la Resina Epóxica GE-38 con las diferentes Nanoarcillas tanto con y sin inhibidor de corrosión se pudo concluir que la mezcla que posee mejores propiedades térmicas es la mezcla de la Resina GE-38 con la Nanoarcilla 30B con inhibidor de corrosión, observando un desplazamiento con respecto a las curvas, esto dice que hubo una interacción mayor en esta mezcla obteniendo una mejor intercalación interlaminar del alquilamonio en las paredes de la Nanoarcilla desplazando el agua e introduciendo la resina, esto impide el paso de humedad en el compuesto mejorando sus propiedades térmicas.

Sorpresivamente se pudo observar que el comportamiento de la mezcla de la Resina GE-38 con la C30B sin inhibidor es la que menos intercalación posee, además de una degradación de sus compuestos inferior a la de las demás mezclas, observando esto se pudo decir que es la mezcla que posee las peores propiedades para este objetivo.

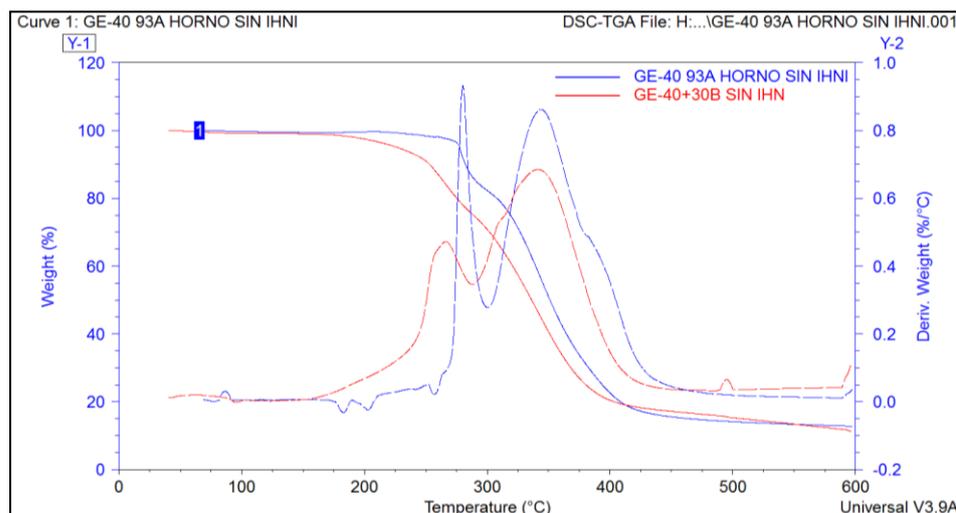


FIGURA 4.174 TGA COMPARATIVO DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-40, NANOARCILLA CLOISITE 30B Y 93A AL 5%, CON HORNO Y SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En el análisis comparativo de la Figura 4.174 se observó que la temperatura de degradación de la mezcla con la Resina GE-40 con la Nanoarcilla C93A, es mayor, por lo tanto se pudo concluir que dicha mezcla posee una mejor intercalación y espaciamiento interlaminar de las nanoarcilla haciendo que mejoren las propiedades térmicas.

Esto se lo pudo corroborar debido a que la curva de la Nanoarcilla C93A esta desplazada un poco más hacia la derecha concluyendo que su temperatura de degradación tuvo que ser mayor para su descomposición.

Se concluyó que la mejor mezcla fue resina epóxica GE-40 con nanoarcilla C93A al 5%, con horno y sin presencia de inhibidor de corrosión.

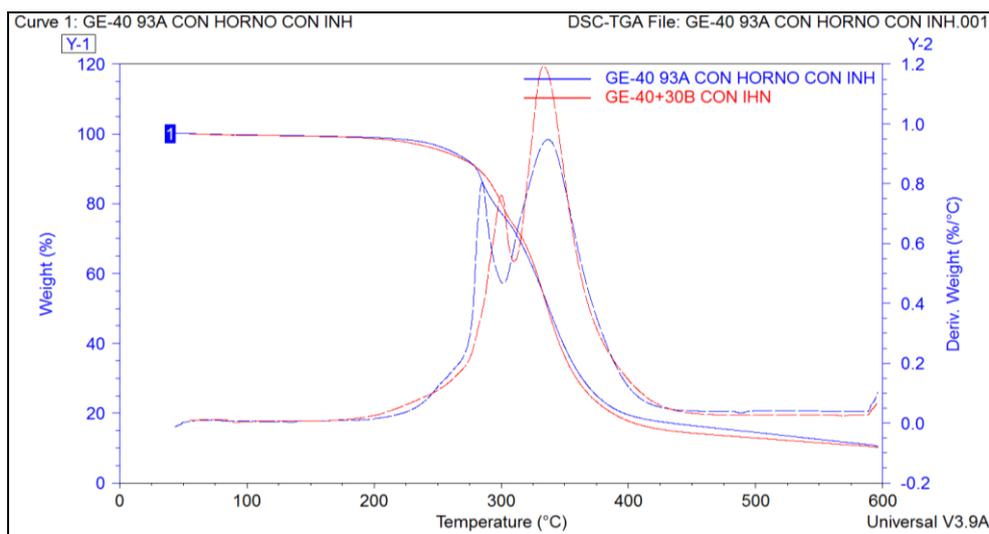
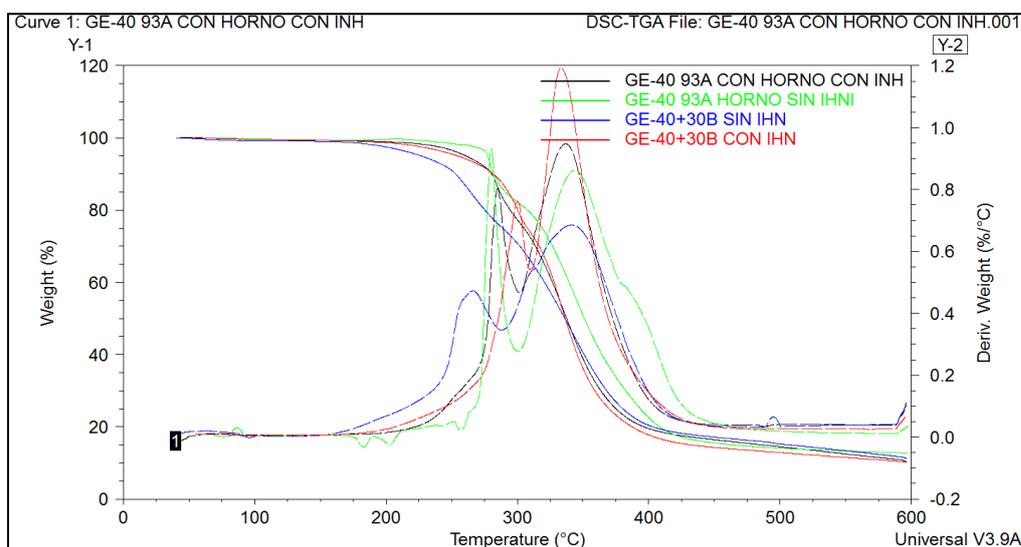


FIGURA 4.175 TGA COMPARATIVO DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-38, NANOARCILLA CLOISITE 30B Y 93A AL 5%, CON HORNO Y CON PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En el análisis comparativo de la Figura 4.175 se observó que la temperatura de degradación de la mezcla con la Resina GE-40 con la Nanoarcilla C30B, es mayor, por lo tanto se pudo concluir que dicha mezcla posee una mejor intercalación y espaciamiento interlaminar de las nanoarcilla haciendo que mejoren las propiedades térmicas.

Esto se lo pudo corroborar debido a que la curva de la Nanoarcilla 30B esta desplazada un poco más hacia la derecha concluyendo que su temperatura de degradación tuvo que ser mayor para su descomposición.

Se concluyó que la mejor mezcla fue resina epóxica GE-40 con nanoarcilla C30B al 5%, con horno y con presencia de inhibidor de corrosión.



**FIGURA 4.176 TGA COMPARATIVO DE TODAS LAS MEZCLA
CON LA RESINA GE-40**

Al observar todas las gráficas de la Resina Epóxica GE-40 con las diferentes Nanoarcillas tanto con y sin inhibidor de corrosión se pudo concluir que la mezcla que posee mejores propiedades térmica es la mezcla de la Resina GE-40 con la Nanoarcilla C93A

sin inhibidor de corrosión, observando un desplazamiento con respecto a las curvas, esto dice que hubo una interacción mayor en esta mezcla obteniendo una mejor intercalación interlaminar del alquilamónio en las paredes de la Nanoarcilla desplazando el agua e introduciendo la resina, esto impedirá el paso de humedad en el compuesto mejorando sus propiedades térmicas.

Sorpresivamente se pudo observar que el comportamiento de la mezcla de la Resina GE-40 con la C30B sin inhibidor es la que menos intercalación posee, se observó que la degradación de los compuestos ocurrió a una temperatura por debajo de los 280°C.

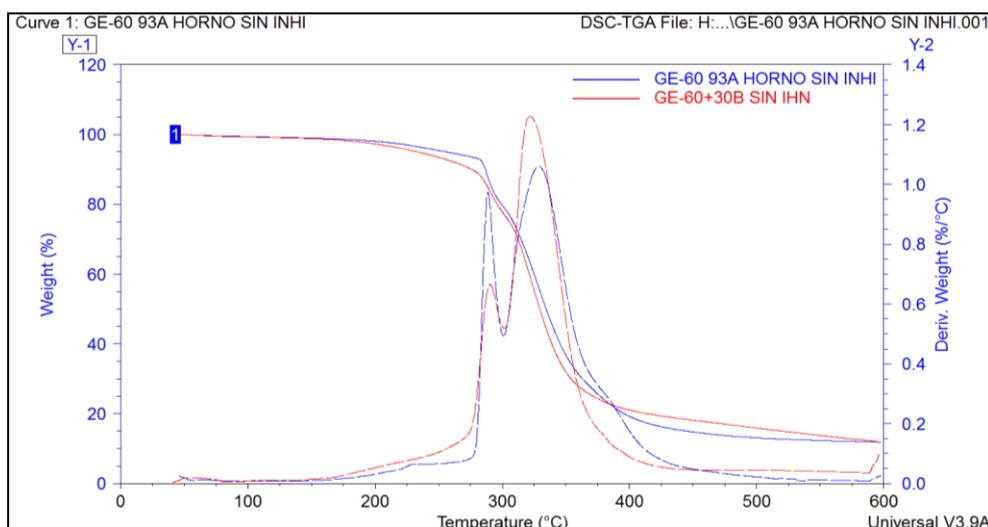


FIGURA 4.177 TGA COMPARATIVO DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-60, NANOARCILLA CLOISITE 30B Y 93A AL 5%, CON HORNO Y SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

El análisis de la figura 4.177 se pudo apreciar que las curvas de las mezcla de la resina con la nanoarcilla C30B y C93A son bastante parecidas en sus degradaciones de sus componentes y se observa que los picos de degradación ocurrieron a la misma temperatura.

A parte se observó que la temperatura de degradación de la mezcla con la Resina GE-60 con la Nanoarcilla C93A, es ligeramente mayor, por lo tanto se pudo concluir que dicha mezcla posee una mejor intercalación y espaciamiento interlaminar de las nanoarcilla haciendo que mejoren las propiedades térmicas.

Esto se lo pudo corroborar debido a que la curva de la Nanoarcilla C93A esta desplazada un poco más hacia la derecha concluyendo que su temperatura de degradación tuvo que ser mayor para su descomposición.

Se concluyó que la mejor mezcla fue resina epóxica GE-60 con nanoarcilla C93A al 5%, con horno y sin presencia de inhibidor de corrosión.

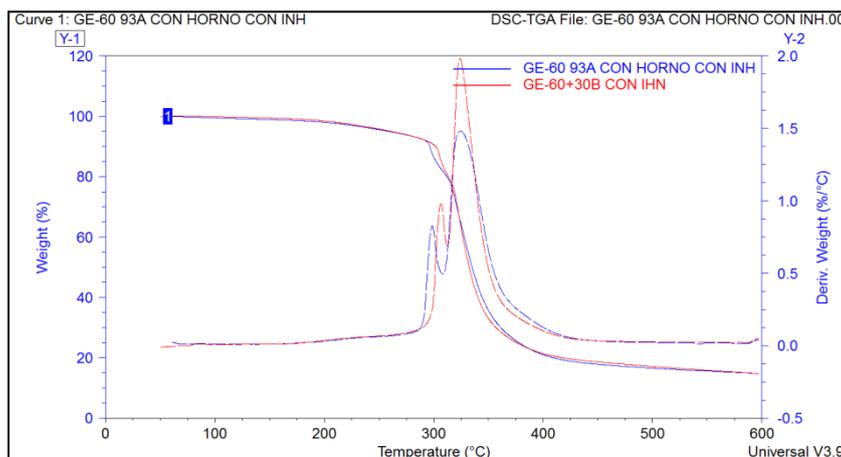


FIGURA 4.178 TGA COMPARATIVO DE LA MEZCLA ENTRE: RESINA EPÓXICA GE-60, NANOARCILLA CLOISITE 30B Y 93A AL 5%, CON HORNO Y CON PRESENCIA DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

En el análisis comparativo de la Figura 4.178 fueron bastante parecidos a los realizados anteriormente y se observó que la temperatura de degradación de la mezcla con la Resina GE-60 con la Nanoarcilla C30B, es ligeramente mayor, por lo tanto se pudo concluir que dicha mezcla posee una mejor intercalación y espaciamiento interlaminar de las nanoarcilla haciendo que mejoren las propiedades térmicas.

Esto se lo pudo corroborar debido a que la curva de la Nanoarcilla 30B esta desplazada un poco más hacia la derecha concluyendo que su temperatura de degradación tuvo que ser mayor para su descomposición.

Se concluyó que la mejor mezcla fue resina epóxica GE-60 con nanoarcilla C30B al 5%, con horno y con presencia de inhibidor de corrosión.

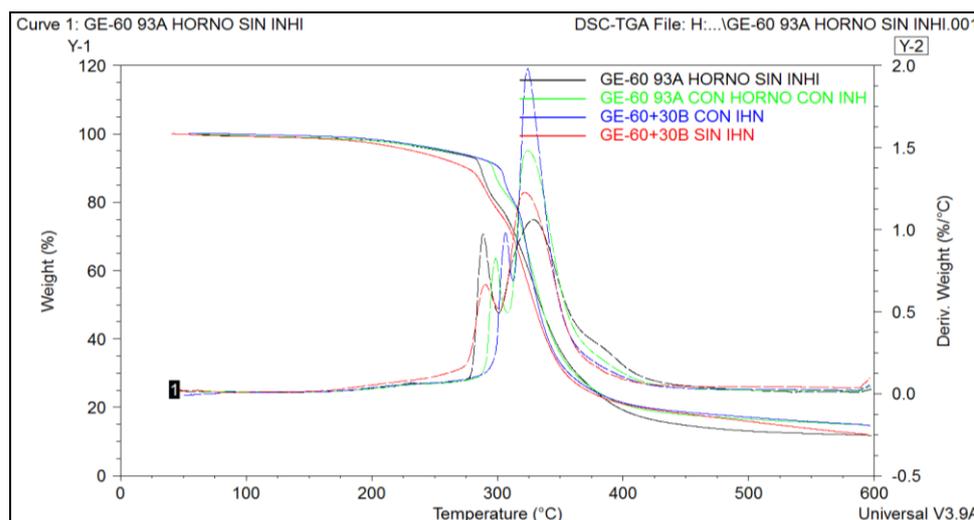


FIGURA 4.179 TGA COMPARATIVO DE TODAS LAS MEZCLAS CON LA RESINA GE-60

Al observar todas las gráficas de la Resina Epóxica GE-60 con las diferentes Nanoarcillas tanto con y sin inhibidor de corrosión se pudo concluir que la mezcla que posee mejores propiedades térmicas es la mezcla de la Resina GE-60 con la Nanoarcilla 30B con inhibidor de corrosión, observando un desplazamiento con respecto a las curvas, esto dice que hubo una interacción mayor en esta mezcla obteniendo una mejor intercalación interlamilar del alquilamónio en las paredes de la Nanoarcilla desplazando el agua

e introduciendo la resina, esto impedirá el paso de humedad en el compuesto mejorando sus propiedades térmicas.

Sorpresivamente se pudo observar que el comportamiento de la mezcla de la Resina GE-60 con la Cloisite 30B sin inhibidor es la que menos intercalación posee, se observó que la degradación de los compuesto ocurrió a una temperatura por debajo de los 300°C.

- Análisis de la 93A con los diferentes Resinas Epóxicas

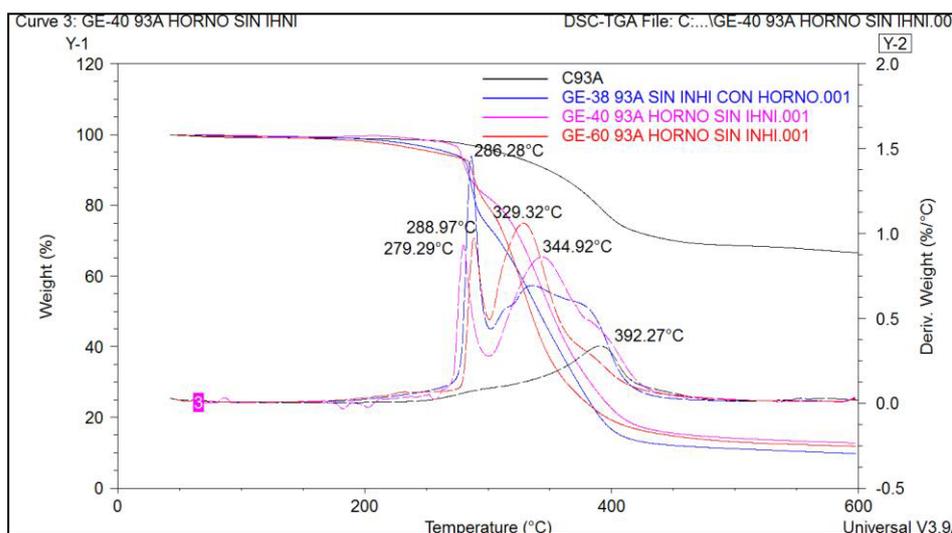


FIGURA 4.180 TGA COMPARATIVO DE TODAS LAS MEZCLAS CON LA NANOARCILLA C93A SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR

Se pudo observar en el análisis de la C93A con los 3 Resinas epóxicas que en los tres casos ocurrió una degradación temprana por parte de la arcilla (392.27°C), siendo la que mayor degradación

tuvo la mezcla con la GE-60 (286.28°C) y la que no obtuvo mucha variación la mezcla con la GE-38 (350°C). Con respecto al primer pico de degradación se pudo observar que así mismo como en el caso de la degradación de la Nanoarcilla, ocurre una degradación temprana de las mezclas pasando de los valores de degradación de las Resina: GE-60 (de 334.51°C a 288.97°C), GE-40 (de 349.06°C a 279.29°C), GE-38 (de 344.52°C a 286.28°C), es decir una vez más la mezcla en la cual ocurre una mayor temperatura de degradación es la de la GE-38.

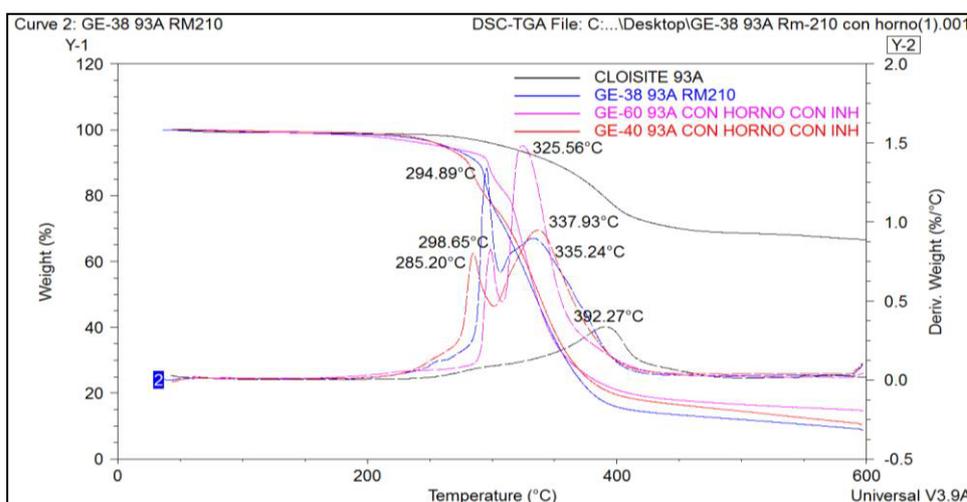


FIGURA 4.181 TGA COMPARATIVO DE TODAS LAS MEZCLA CON LA NANOARCILLA C93A CON PRESENCIA DE INHIBIDOR

En el análisis de la misma Nanoarcilla pero trabajada con inhibidor de corrosión se pudo observar resultados parecidos, menos en la

mezcla de la GE-60 la cual tuvo una mejoría en el pico de la degradación de la Resina Epóxica en comparación con las mezclas realizadas sin la presencia de inhibidor, los demás resultados se mantienen en el margen anterior.

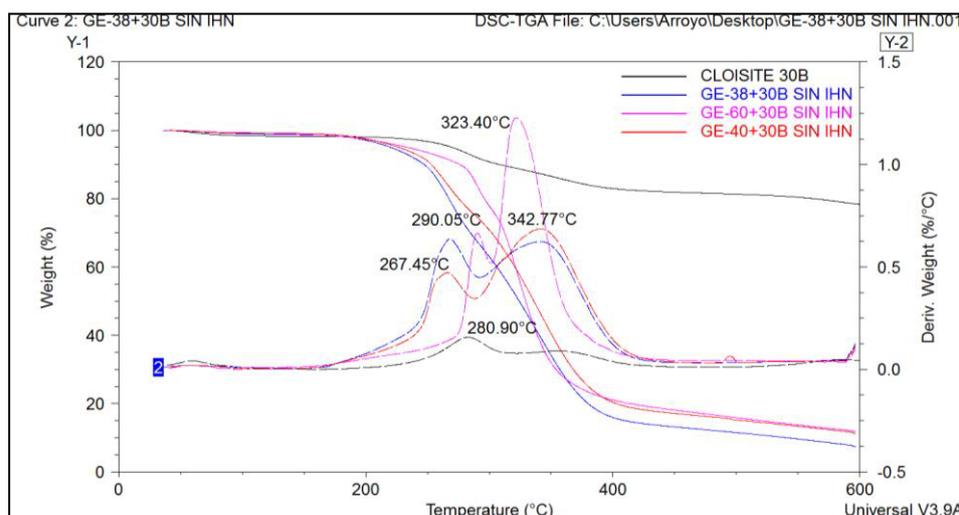


FIGURA 4.182 TGA COMPARATIVO DE TODAS LAS MEZCLA CON LA NANOARCILLA C30B SIN PRESENCIA DE INHIBIDOR

Se pudo observar en el análisis de la C93A con los 3 Resinas epóxicos que en los tres casos ocurrió una degradación temprana por parte de la arcilla (283°C y 358°C), siendo la que mayor degradación tuvo la mezcla con la GE-60 (323.4°C) y la que no obtuvo mucha variación la mezcla con la GE-38 (343°C). Con respecto al primer pico de degradación se pudo observar que así

mismo como en el caso de la degradación de la Nanoarcilla, ocurre una degradación temprana de las mezclas pasando de los valores de degradación de las Resina: GE-60 (de 334.51°C a 290.05°C), GE-40 (de 349.06°C a 267.45°C), GE-38 (de 344.52°C a 267.45°C), es decir una vez más la mezcla en la cual ocurre una mayor temperatura de degradación es la de la GE-60.

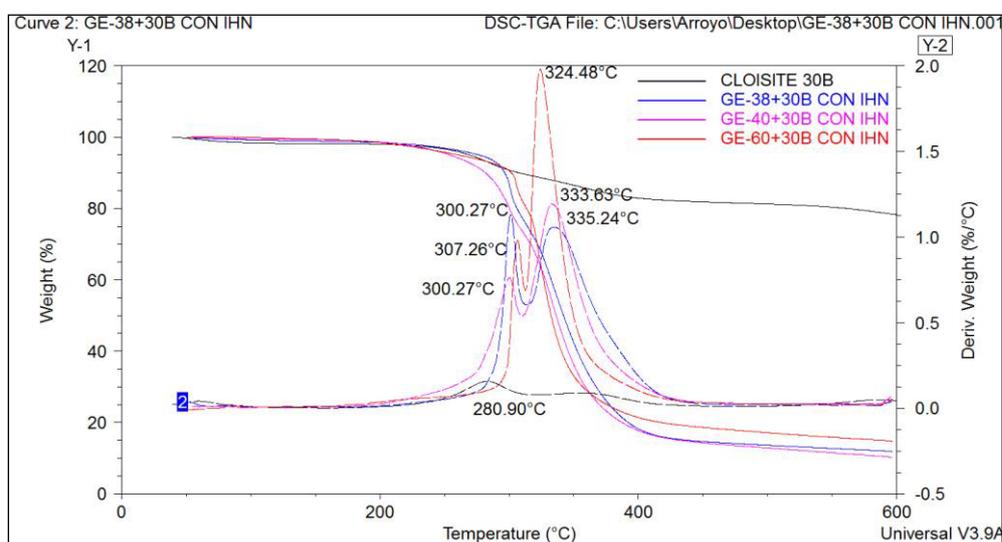


FIGURA 4.183 TGA COMPARATIVO DE TODAS LAS MEZCLA CON LA NANOARCILLA C30B CON PRESENCIA DE INHIBIDOR

En el análisis de la misma Nanoarcilla pero trabajada con inhibidor de corrosión se pudo observar resultados parecidos, pero mejorando los picos de degradación de la resina siendo la que mejor temperatura de degradación fue la mezcla de la GE-60 la cual

tuvo una mejoría en el pico de la degradación de la Resina Epóxica en comparación con las mezclas realizadas sin la presencia de inhibidor, los demás resultados se mantienen en el margen anterior.

Tablas comparativas de las gráficas del TGA

TABLA 32

TGA PORCENTAJE DE AGUA LIBRE (entre 100°C-120°C)

Porcentaje de Agua libre (%)									
Sin horno					Con horno				
	C93A	C30B	C93A+inh	C30B+inh		C93A	C30B	C93A+inh	C30B+inh
GE-60	0,46	NA	1,6	NA	GE-60	0,17	0,78	0,62	0,13
GE-40	0,16	NA	0,41	NA	GE-40	0,3	0,83	0,39	0,41
GE-38	1,12	NA	0,29	NA	GE-38	0,44	1,08	0,58	0,82

TABLA 33

TGA DEGRADACIÓN DE LAS RESINAS EPÓXICAS

Degradación de la Resina Epóxica (°C)									
Sin horno					Con horno				
	C93A	C30B	C93A+inh	C30B+inh		C93A	C30B	C93A+inh	C30B+inh
GE-60	290,64	NA	298,01	NA	GE-60	288,94	290,54	298,58	307,26
GE-40	277,6	NA	290,64	NA	GE-40	280,43	266,37	284,97	300,27
GE-38	278,16	NA	295,75	NA	GE-38	286,1	268,53	295,18	301,88

TABLA 34
TGA DEGRADACIÓN DE LA NANOARCILLA Y NUEVOS
COMPONENTES

Degradacion de la Arcilla (°C)									
Sin horno					Con horno				
	C93A	C30B	C93A+inh	C30B+inh		C93A	C30B	C93A+inh	C30B+inh
GE-60	322,97	NA	322,4	NA	GE-60	329,21	322,33	325,81	324,48
GE-40	338,28	NA	339,42	NA	GE-40	343,96	339,37	336,58	333,63
GE-38	345,66	NA	335,45	NA	GE-38	334,86	342,23	333,18	335,24

Gracias a la Tabla 32 se pudo observar que debido al tratamiento térmico de la nanoarcilla antes de realizar los ensayos se pudo disminuir el porcentaje de agua libre, debido a este proceso de precalentado un leve retraso en la degradación de la nanoarcilla en la mayoría de las diferentes mezclas.

En la Tabla 33 dice donde ocurre el primer pico endotérmico en los diferentes ensayos, gracias a esto se puede asegurar con mayor facilidad que la mezcla en la que su degradación de la Resina Epóxica ocurre a una temperatura más elevada es el ensayo realizado con la Resina GE-60 con tratamiento térmico en el horno a 70°C con 5% de organoarcilla C30B con 1% de inhibidor de corrosión.

En la Tabla 34 se observa el segundo pico endotérmico, hay que recalcar que los valores que se obtuvieron son los de los picos más

altos ya que como se pudo observar esta parte del análisis de las gráficas posee multipicos, dada esta aclaración se puede concluir que la mezcla que tuvo una degradación más retardada fue la de la Resina Epóxica GE-38 sin tratamiento térmico con 5% de Organoarcilla C93A sin presencia de inhibidor de corrosión.

Ensayo de Rayos Infrarrojos (FTIR)

Mediante este ensayo se obtiene la caracterización de los gráficos obtenidos en el Equipo de Rayos Infrarrojos, a continuación se presentan los resultados del ensayo.

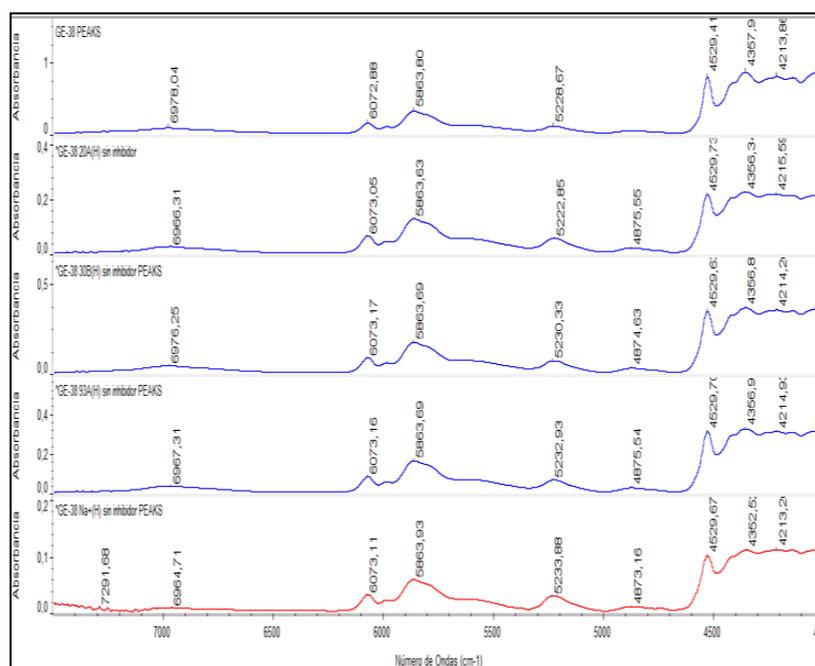


FIGURA 4.184 GE-38 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON HORNO

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-38 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.184

En el rango de 6964 a 6976 cm^{-1} se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6072 a 6073 cm^{-1} los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de 5863 a 5864 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico; a continuación se observó que en el rango de 5222 a 5233 cm^{-1} pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH_2 y CH; en el rango de 4873 a 4876 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH_2 del grupo epóxico en el rango de 4528 a 4529 cm^{-1} ; en el rango de 4352 a 4357 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH_2 mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de

estiramiento simétrico del CH₂ mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4213 a 4215 cm⁻¹; por último se pudo observar a los 4141 a 4000 cm⁻¹ el pico de los grupos complejos de la mezcla.

TABLA 35
GE-38 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON HORNO

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	GE-38	GE-38 20A	GE-38 30B	GE-38 93A	GE-38 Na
Primer Armónico: Estiramiento de los grupos OH	6978	6966	6976	6967	6965
Primer Armónico: Estiramiento fundamental del grupo CH	6073	6073	6073	6073	6073
Primer Armónico de todos los grupos CH	5986	5986	5986	5986	5986
Primer Armónico de todos los grupos CH ₂	5864	5864	5864	5864	5864
OH debido a la humedad o combinación de CH ₂ y CH	5229	5223	5230	5233	5234
OH debido al enlace de hidrógeno a los grupos de oxígeno en la cadena	4876	4876	4875	4876	4873
CH fundamental asimetría de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica de epóxico	4529	4530	4530	4530	4530
CH fundamentales simétricos de estiramiento + CH ₂ deformación simétricos de epóxico	4414	4414	4414	4414	4414
CH ₂ Vibración asimétrica de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica	4358	4356	4357	4357	4353
CH ₂ Vibración simétrica de estiramiento + CH simétrica de deformación	4214	4216	4214	4215	4213
Grupos Complejos	4143-4000				

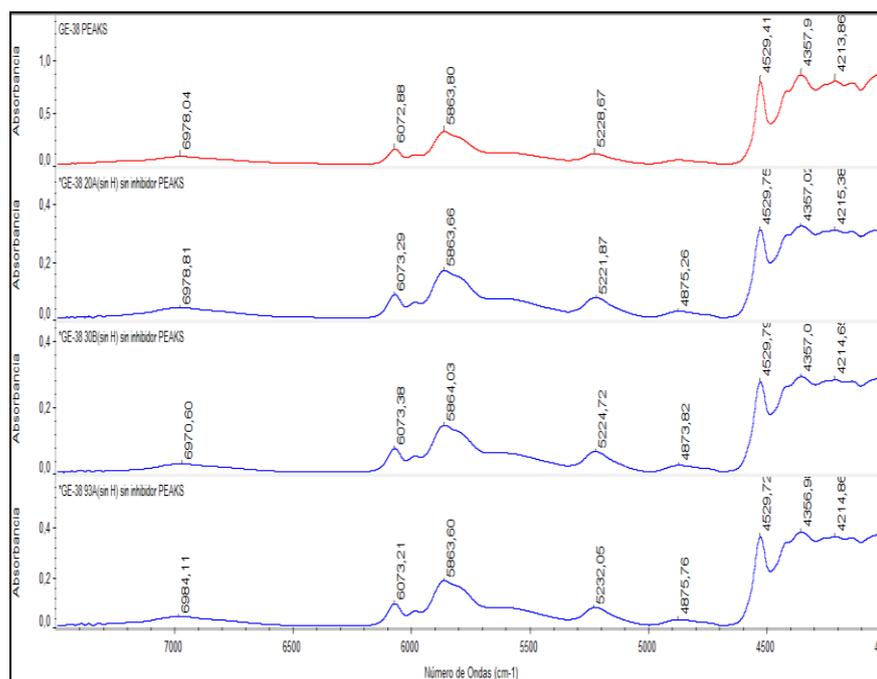


FIGURA 4.185 GE-38 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-38 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.185

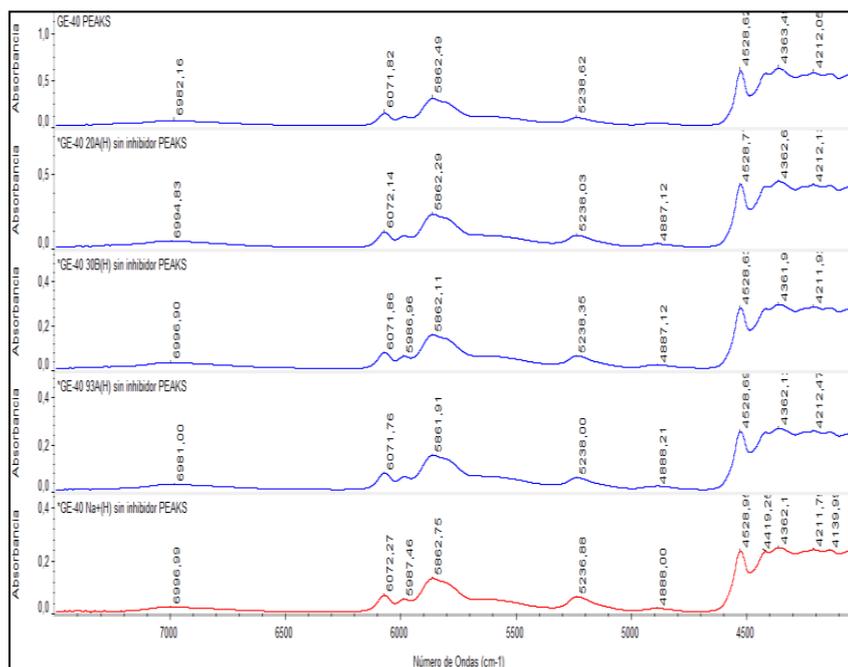
En el rango de 6970 a 6984 cm⁻¹ se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6072 a 6073 cm⁻¹ los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el

primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de 5863 a 5864 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico; a continuación se observó que en el rango de 5221 a 5232 cm^{-1} pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH_2 y CH; en el rango de 4873 a 4876 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH_2 del grupo epóxico en el rango de 4528 a 4529 cm^{-1} ; en el rango de 4357 a 4358 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH_2 mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH_2 mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4213 a 4215 cm^{-1} ; por último se pudo observar a los 4141 a 4000 cm^{-1} el pico de los grupos complejos de la mezcla.

TABLA 36

GE-38 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO

Grupos	Wavenumber(cm-1)			
	GE-38	GE-38 20A	GE-38 30B	GE-38 93A
Primer Armónico: Estiramiento de los grupos OH	6984	6970	6978	6978
Primer Armónico: Estiramiento fundamental del grupo CH	6073	6073	6073	6072
Primer Armónico de todos los grupos CH	5986	5986	5986	5986
Primer Armónico de todos los grupos CH ₂	5863	5864	5863	5863
OH debido a la humedad o combinación de CH ₂ y CH	5232	5224	5221	5228
OH debido al enlace de hidrógeno a los grupos de oxígeno en la cadena	4875	4873	4875	4876
CH fundamental asimetría de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica de epóxico	4529	4529	4529	4529
CH fundamentales simétricos de estiramiento + CH ₂ deformación simétricos de epóxico	4414	4414	4414	4414
CH ₂ Vibración asimétrica de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica	4358	4356	4357	4357
CH ₂ Vibración simétrica de estiramiento + CH simétrica de deformación	4214	4214	4215	4213
Grupos Complejos	4141-4000			



**FIGURA 4.186 GE-40 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS
CON HORNO**

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-40 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.186

En el rango de 6980 a 6994 cm⁻¹ se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6071 a 6072 cm⁻¹ los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el

primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de 5986 a 5987 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico en el rango de 5861 a 5862 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 5236 a 5238 cm^{-1} pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH_2 y CH; en el rango de 4887 a 4888 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH_2 del grupo epóxico en el rango de 4528 a 4529 cm^{-1} ; en el rango de 4419 a 4420 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH más la deformación simétrica del CH_2 del grupo epóxico; en el rango de 4361 a 4363 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH_2 mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH_2 mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4211 a 4212 cm^{-1} ; por último se pudo observar a los 4139 a 4000 cm^{-1} el pico de los grupos complejos de la mezcla.

TABLA 37

GE-40 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON HORNO

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	GE-40	GE-40 20A	GE-40 30B	GE-40 93A	GE-40 Na
Primer Armónico: Estiramiento de los grupos OH	6982	6995	6997	6981	6997
Primer Armónico: Estiramiento fundamental del grupo CH	6072	6072	6072	6072	6072
Primer Armónico de todos los grupos CH	5987	5987	5987	5987	5987
Primer Armónico de todos los grupos CH ₂	5862	5862	5862	5862	5863
OH debido a la humedad o combinación de CH ₂ y CH	5239	5238	5238	5238	5237
OH debido al enlace de hidrógeno a los grupos de oxígeno en la cadena	4887	4887	4887	4888	4888
CH fundamental asimetría de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica de epóxico	4529	4529	4529	4529	4529
CH fundamentales simétricos de estiramiento + CH ₂ deformación simétricos de epóxico	4414	4414	4414	4414	4419
CH ₂ Vibración asimétrica de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica	4363	4363	4362	4362	4362
CH ₂ Vibración simétrica de estiramiento + CH simétrica de deformación	4212	4212	4212	4212	4212
Grupos Complejos	4143-4000				

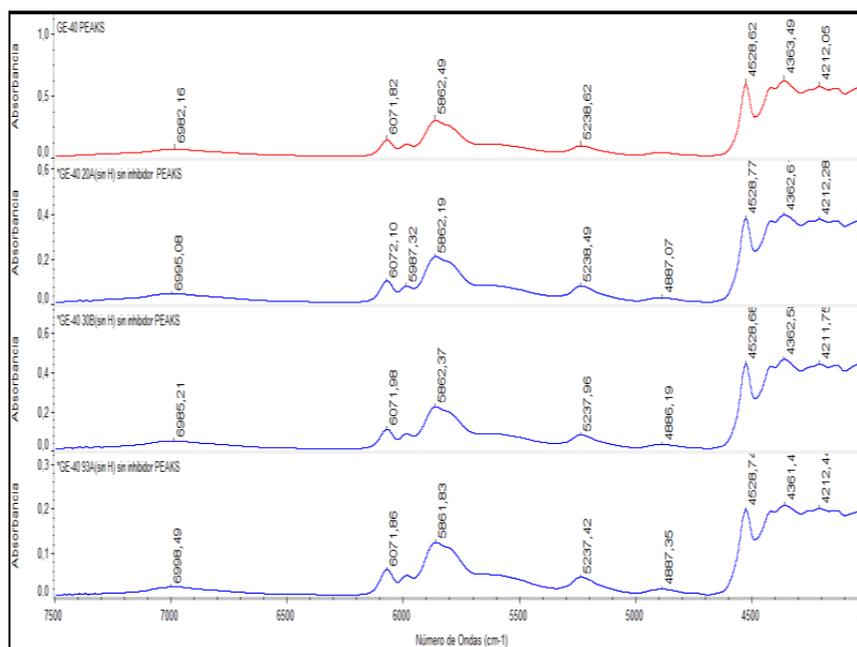


FIGURA 4.187 GE-40 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-40 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en figura 4.187

En el rango de 6982 a 6998 cm^{-1} se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6071 a 6072 cm^{-1} los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de

5986 a 5987 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico e el rango de 5861 a 5862 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 5237 a 5238 cm^{-1} pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH_2 y CH; en el rango de 4886 a 4887 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH_2 del grupo epóxico en el rango de 4528 a 4529 cm^{-1} ; en el rango de 4419 a 4420 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH más la deformación simétrica del CH_2 del grupo epóxico; en el rango de 4361 a 4363 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH_2 mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH_2 mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4211 a 4212 cm^{-1} ; por último se pudo observar a los 4139 a 4000 cm^{-1} el pico de los grupos complejos de la mezcla.

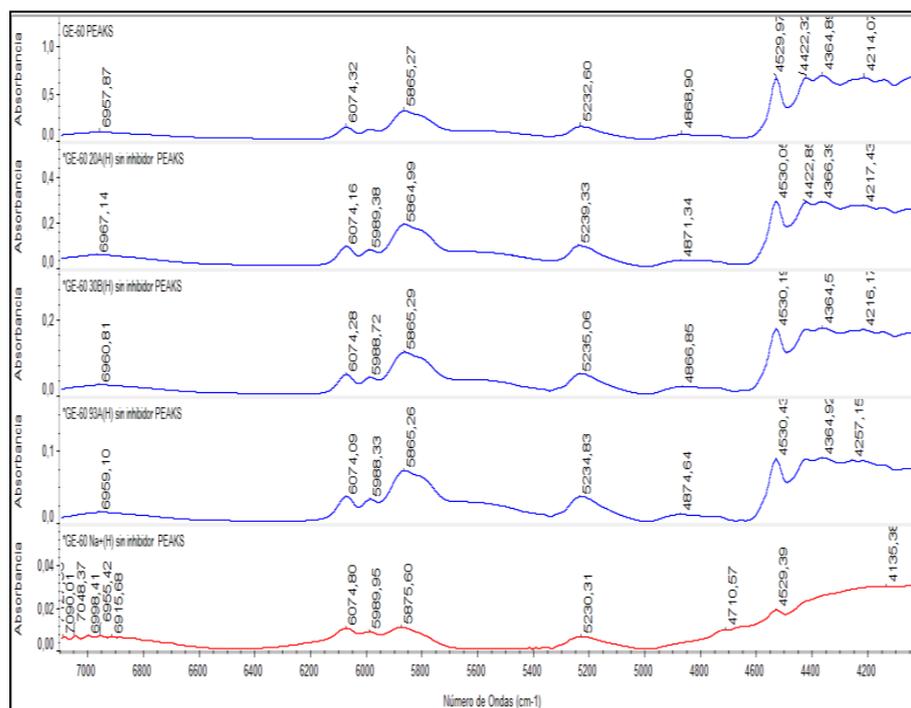


FIGURA 4.188 GE-60 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON HORNO

Se pudo observar que al comparar las curvas del FTIR de la resina GE-60 con todas las Organoarcilla, se encontró que la curva de la Resina pura es la que tuvo mayor amplitud debido a que, al hacer el análisis y depositar la muestra en la probeta del ensayo la luz no encontró ningún obstáculo en su camino por lo que la difracción de la luz va a recorrer mayor distancia, eso es reflejado en la figura anterior, por esta razón es que al hacer la mezcla con cualquier nanoarcilla la intensidad de las curvas disminuye, esto se debió a la dispersión del compuesto.

Se observó que todas las curvas a analizar son parecidas ya que se trata de una mezcla con una misma resina, el gráfico se ordenó el debido al grado de intensidad de los picos de los compuestos, siendo la mezcla con la 20A la de mayor intensidad seguida por la C30B, C93A y la CNa apareció pero casi como una línea recta.

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-60 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.188

En el rango de 6955 a 6967 cm^{-1} se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6074 a 6075 cm^{-1} los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de 5988 a 5990 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico e el rango de 5865 a 5875 cm^{-1} (inusual en la NA+); a continuación se observó que en el rango de 5230 a 5240 cm^{-1} (en la 20A inusual) pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH_2 y CH; en el rango de 4866 a

4874 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena, en el análisis además se pudo apreciar que la mezcla de la resina GE-60 con la CNA+ la aparición de un pico extraño en el orden de los 4710 cm^{-1} que pudo ser atribuido a la presencia de OH ; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH₂ del grupo epóxico en el rango de 4529 a 4530 cm^{-1} ; en el rango de 4421 a 4423 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH más la deformación simétrica del CH₂ del grupo epóxico; en el rango de 4364 a 4366 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH₂ mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH₂ mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4214 a 4219 cm^{-1} ; por último se pudo observar a los 4143 a 4000 cm^{-1} el pico de los grupos complejos de la mezcla.

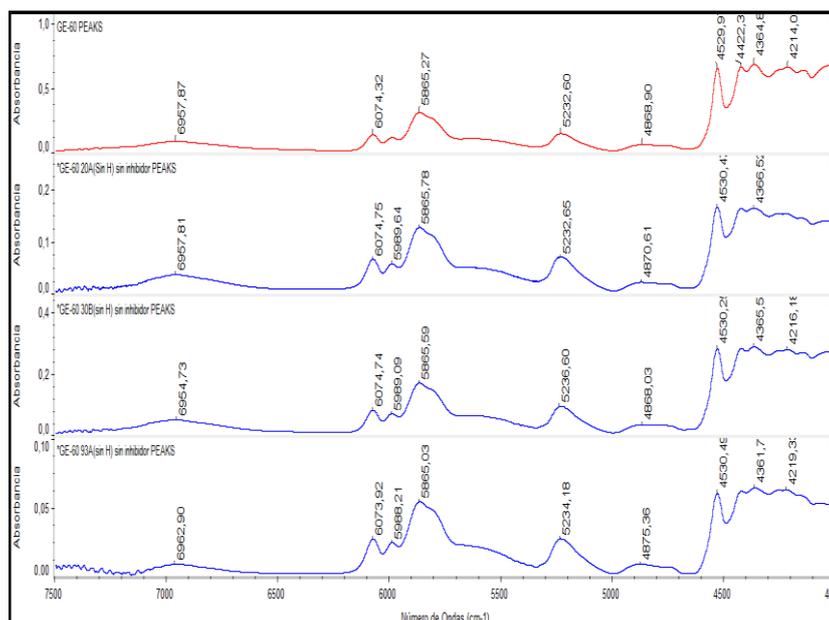


FIGURA 4.189 GE-60 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-60 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.189

En el rango de 6954 a 6962 cm^{-1} se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6073 a 6075 cm^{-1} los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de

5988 a 5990 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico e el rango de 5865 a 5866 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 5232 a 5236 cm^{-1} pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH_2 y CH; en el rango de 4868 a 4875 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH_2 del grupo epóxico en el rango de 4529 a 4530 cm^{-1} ; en el rango de 4421 a 4423 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH más la deformación simétrica del CH_2 del grupo epóxico; en el rango de 4361 a 4366 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH_2 mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH_2 mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4214 a 4219 cm^{-1} ; por último se pudo observar a los 4143 a 4000 cm^{-1} el pico de los grupos complejos de la mezcla.

Se observó que todas las curvas a analizar son parecidas ya que se trata de una mezcla con una misma resina, el gráfico se ordenó el debido al grado de intensidad de los picos de los compuestos,

siendo la mezcla con la C30B la de mayor intensidad seguida por la C20A, C93A.

Se puede concluir que mientras más sea la intensidad de los picos se observó una mayor intercalación o en algunos casos exfoliación de la mezcla del compuesto.

TABLA 38

GE-60 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO

Grupos	Wavenumber(cm-1)			
	GE-60	GE-60 20A	GE-60 30B	GE-60 93A
Primer Armónico: Estiramiento de los grupos OH	6958	6958	6955	6963
Primer Armónico: Estiramiento fundamental del grupo CH	6074	6074	6055	6062
Primer Armónico de todos los grupos CH	5989	5989	5989	5989
Primer Armónico de todos los grupos CH ₂	5865	5866	5866	5865
OH debido a la humedad o combinación de CH ₂ y CH	5232	5233	5237	5234
OH debido al enlace de hidrógeno a los grupos de oxígeno en la cadena	4869	4870	4868	4875
CH fundamental asimetría de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica de epóxico	4530	4530	4530	4530
CH fundamentales simétricos de estiramiento + CH ₂ deformación simétricos de epóxico	4422	4422	4422	4422
CH ₂ Vibración asimétrica de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica	4365	4366	4366	4362
CH ₂ Vibración simétrica de estiramiento + CH simétrica de deformación	4214	4215	4216	4219
Grupos Complejos	4143-4000			

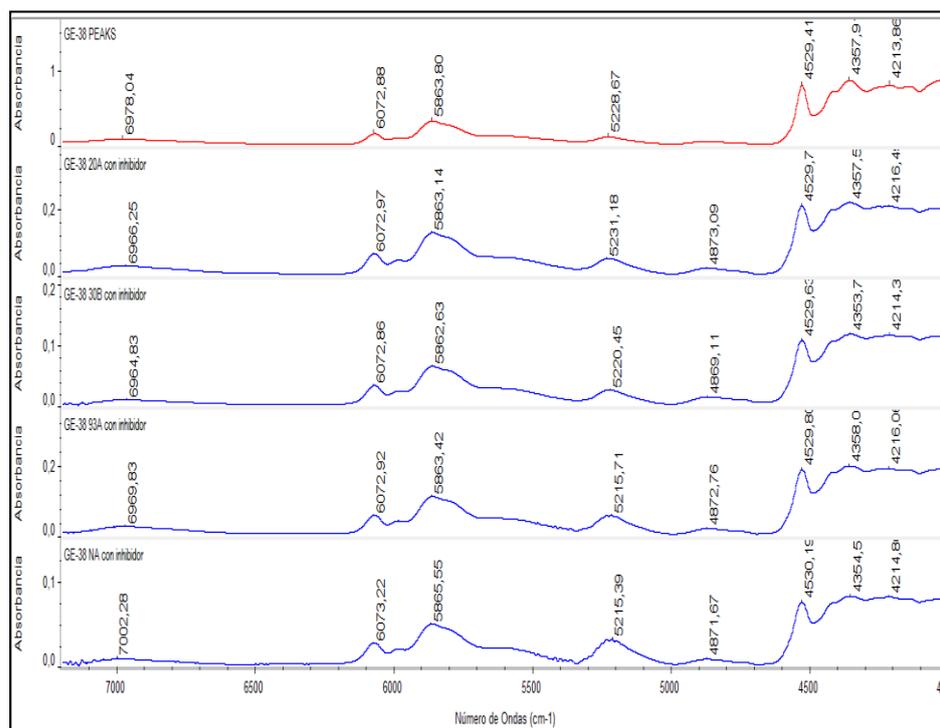


FIGURA 4.190 GE-38 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO CON INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-38 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.190

En el rango de 6964 a 7002 cm^{-1} (inusual en la NA+) se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6072 a 6073 cm^{-1} los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del

grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de 5862 a 5866 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico; a continuación se observó que en el rango de 5215 a 5231 cm^{-1} pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH_2 y CH; en el rango de 4869 a 4876 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH_2 del grupo epóxico en el rango de 4529 a 4530 cm^{-1} ; en el rango de 4353 a 4358 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH_2 mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH_2 mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4213 a 4216 cm^{-1} ; por último se pudo observar a los 4141 a 4000 cm^{-1} el pico de los grupos complejos de la mezcla.

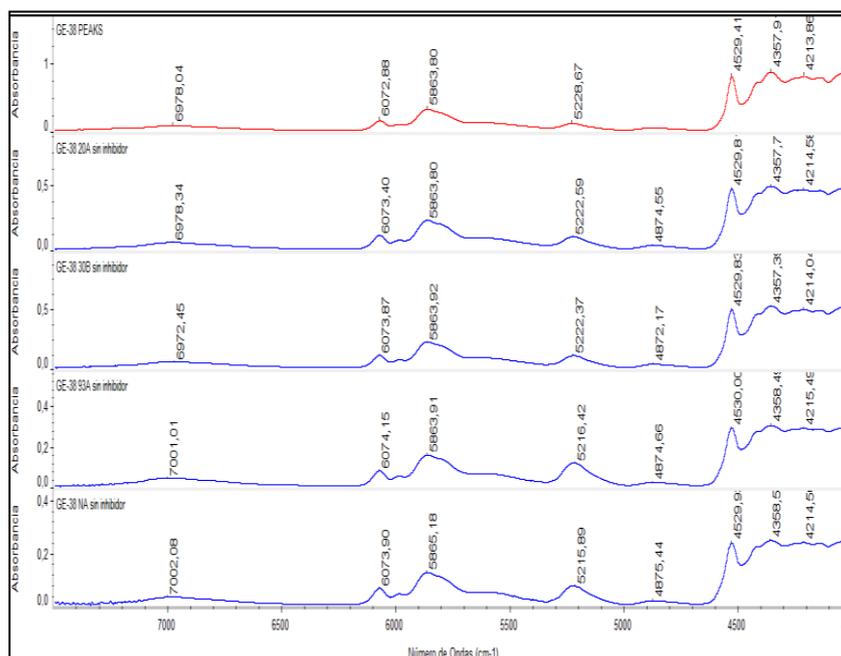


FIGURA 4.191 GE-38 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-38 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.191

En el rango de 6972 a 7002 cm^{-1} (inusual en la NA+) se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6072 a 6074 cm^{-1} los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del

grupo epóxico en el rango de 5863 a 5866 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico; a continuación se observó que en el rango de 5215 a 5228 cm^{-1} pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH_2 y CH; en el rango de 4872 a 4876 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH_2 del grupo epóxico en el rango de 4529 a 4530 cm^{-1} ; en el rango de 4357 a 4358 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH_2 mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH_2 mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4213 a 4216 cm^{-1} ; por último se pudo observar a los 4141 a 4000 cm^{-1} el pico de los grupos complejos de la mezcla.

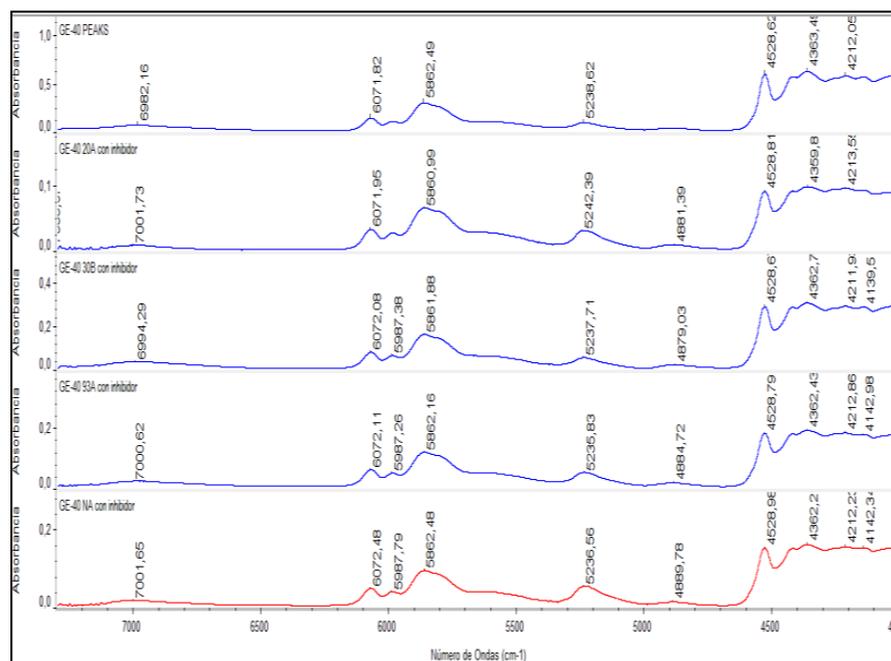


FIGURA 4.192 GE-40 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO CON INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-40 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.192

En el rango de 6982 a 7002 cm⁻¹ se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6071 a 6072 cm⁻¹ los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de

5986 a 5987 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico en el rango de 5860 a 5862 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 5235 a 5242 cm^{-1} pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH_2 y CH; en el rango de 4879(30B) a 4889 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH_2 del grupo epóxico en el rango de 4528 a 4529 cm^{-1} ; en el rango de 4419 a 4420 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH más la deformación simétrica del CH_2 del grupo epóxico; en el rango de 4359 a 4364 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH_2 mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH_2 mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4211 a 4213 cm^{-1} ; por último se pudo observar a los 4139 a 4000 cm^{-1} el pico de los grupos complejos de la mezcla.

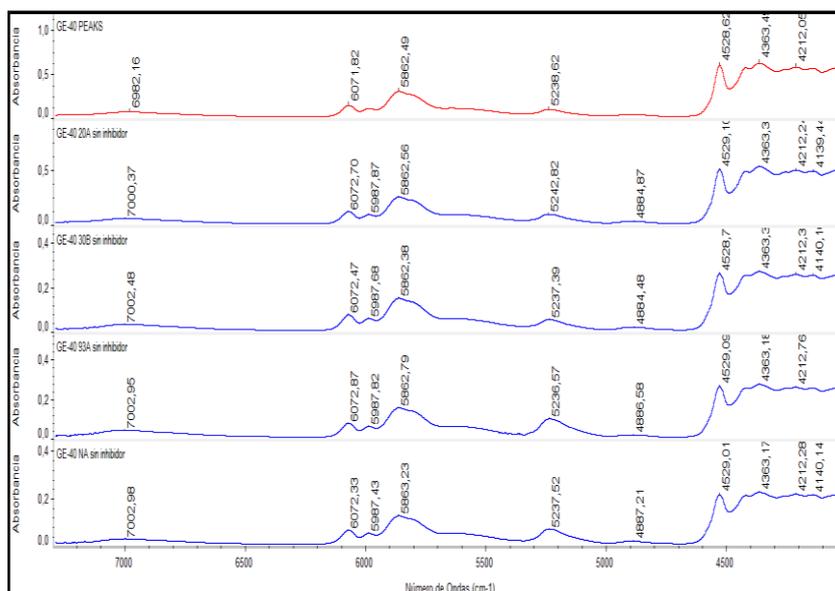


FIGURA 4.193 GE-40 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con la resina GE-40 y las arcillas las cuales tuvieron tratamiento térmico con el fin de aminorar la humedad en ellas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.193

En el rango de 6982 a 7003 cm^{-1} se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6071 a 6072 cm^{-1} los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de 5986 a 5987 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer

armónico de todos los CH₂ del grupo epóxico en el rango de 5862 a 5863 cm⁻¹; a continuación se observó que en el rango de 5236 a 5243 cm⁻¹ pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH₂ y CH; en el rango de 4887 a 4884 cm⁻¹ se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH₂ del grupo epóxico en el rango de 4528 a 4529 cm⁻¹; en el rango de 4419 a 4420 cm⁻¹ se determinó los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH más la deformación simétrica del CH₂ del grupo epóxico; en el rango de 4363 a 4364 cm⁻¹ se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH₂ mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH₂ mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4212 a 4213 cm⁻¹; por último se pudo observar a los 4140 a 4000 cm⁻¹ el pico de los grupos complejos de la mezcla.

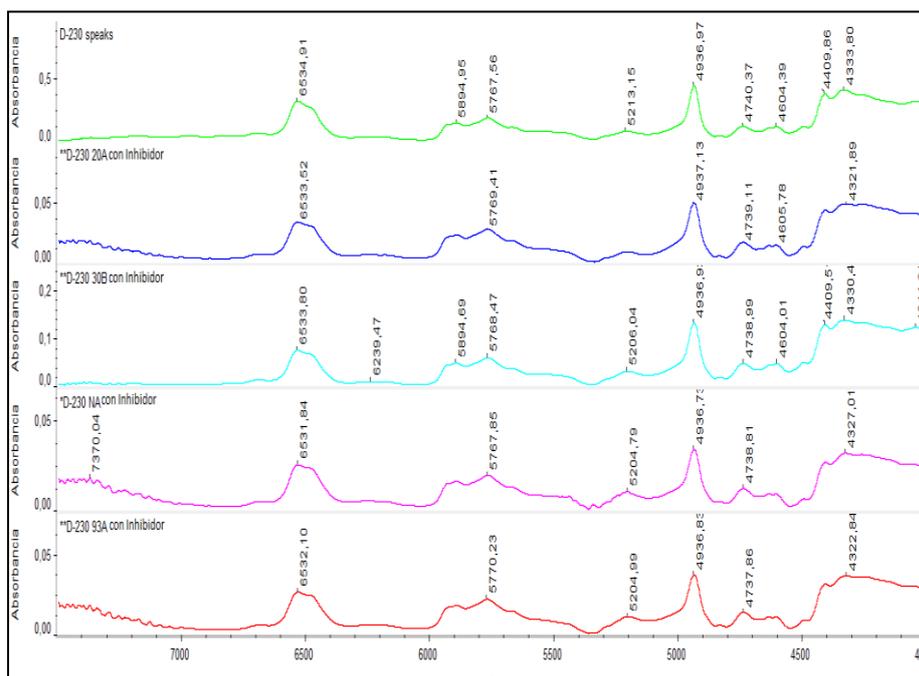


FIGURA 4.194 AMINA D-230 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina D-230, arcillas e inhibidor obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.194. En el rango de 6531 a 6535 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; a continuación se observó en el rango de 5894 a 5895 cm^{-1} el primer armónico de todos los CH de los grupos metilo; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5767 a 5770 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango de 5204 a 5213 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de

4936 a 4937 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4737 a 4740 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 39
AMINA D-230 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON
INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				D-230 NA+
	D-230	D-230 20A	D-230 30B	D-230 93A	
Grupos NH_2	6535	6534	6534	6532	6532
Primer Armónico: grupo CH	5895	5894	5895	5895	5894
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5768	5769	5769	5770	5768
Vibración de Estiramiento de los OH	5213	5208	5206	5205	5205
Combinación de los NH_2	4937	4937	4937	4937	4937
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4740	4739	4739	4738	4739

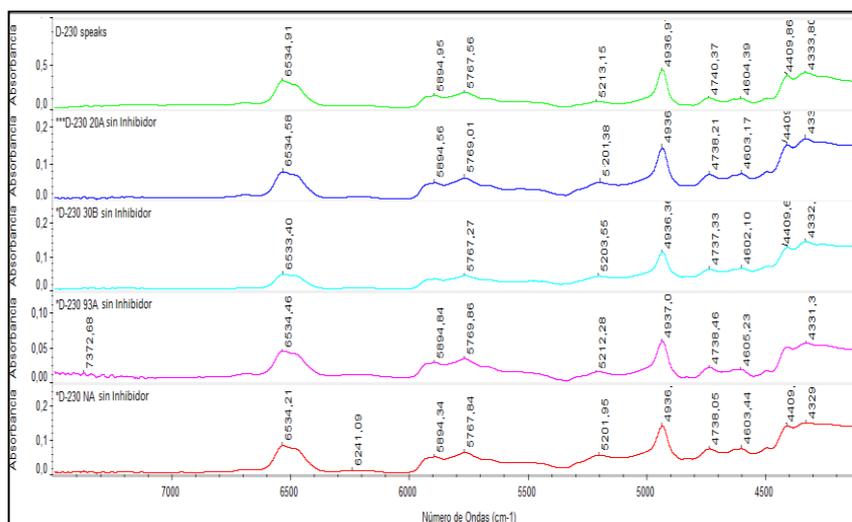


FIGURA 4.195 D-230 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina D-230 y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.195

En el rango de 6533 a 6535 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; a continuación se observó en el rango de 5894 a 5895 cm^{-1} el primer armónico de todos los CH de los grupos metilo; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5767 a 5770 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango de 5201 a 5213 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4936 a 4937 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4737 a 4740 cm^{-1} se

determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH₂ del grupo amino.

TABLA 40
AMINA D-230 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN
INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	D-230	D-230 20A	D-230 30B	D-230 93A	D-230 NA+
Grupos NH ₂	6535	6535	6533	6535	6534
Primer Armónico: grupo CH	5895	5895	5894	5895	5894
Primer Armónico: de todos los grupos CH ₂	5768	5769	5767	5770	5768
Vibración de Estiramiento de los OH	5213	5201	5204	5212	5202
Combinación de los NH ₂	4937	4936	4936	4937	4936
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH ₂	4740	4738	4737	4739	4738

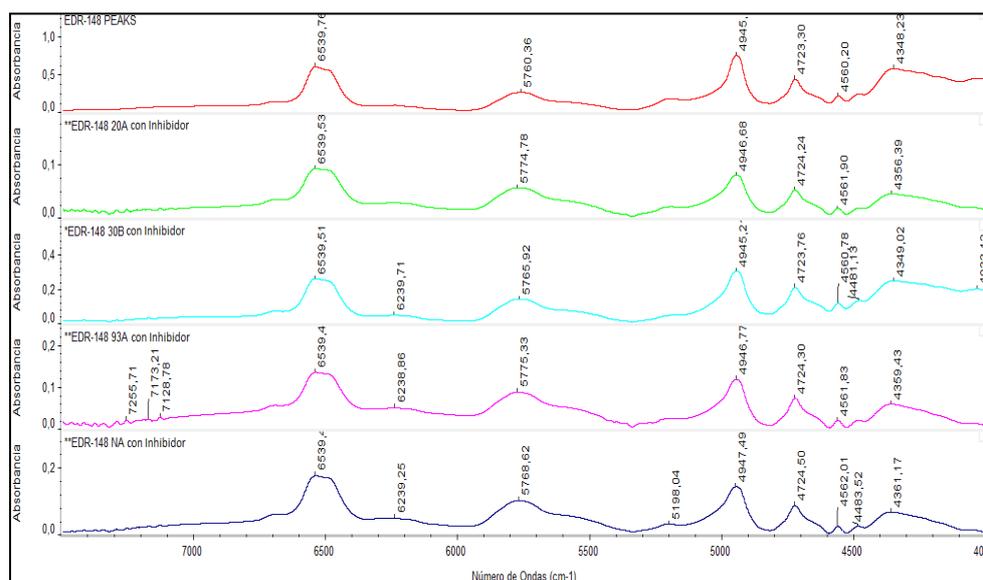


FIGURA 4.196 EDR-148 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina EDR-148, arcillas e inhibidor obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.196. En el rango de 6539 a 6540 cm⁻¹ se observó los picos de los grupos NH₂ de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH₂ del grupo amino en el rango de 5760 a 5775 cm⁻¹; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango de 5194 a 5198 cm⁻¹; a continuación se observó que en el rango de 4945 a 4948 cm⁻¹ los picos pertenecen a la combinación de los NH₂ que forman la Amina primaria; en el

rango de 4723 a 4725 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 41
AMINA EDR-148 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON
INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	EDR-148	EDR-148 20A	EDR-148 30B	EDR-148 93A	EDR-148 NA+
Grupos NH_2	6540	6540	6540	6539	6539
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5760	5775	5765	5776	5769
Vibración de Estiramiento de los OH	5198	5194	5194	5194	5198
Combinación de los NH_2	4945	4947	4945	4947	4948
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4723	4724	4724	4724	4725

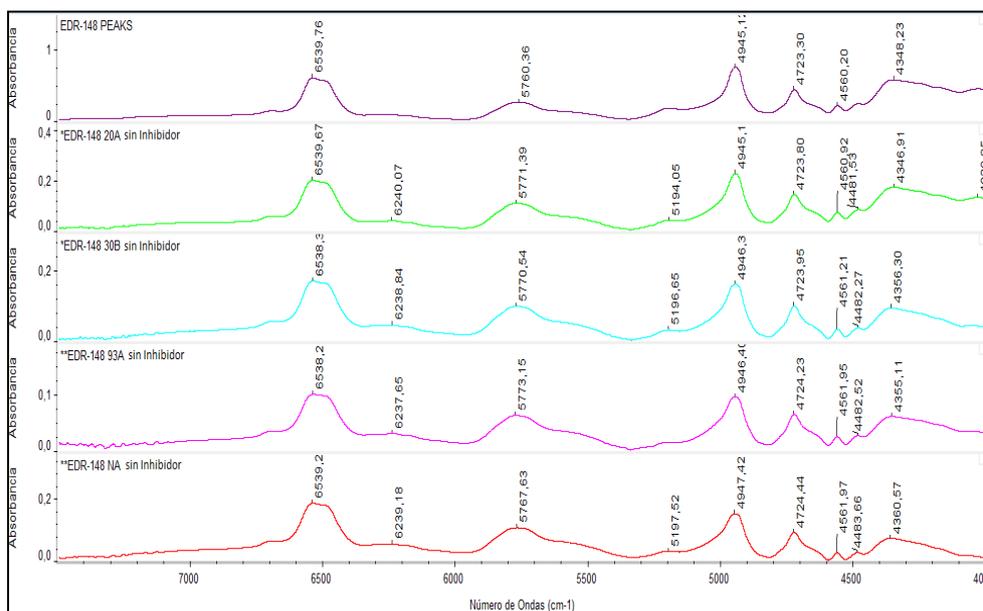


FIGURA 4.197 AMINA EDR-148 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina EDR-148 y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.194

En el rango de 6539 a 6540 cm⁻¹ se observó los picos de los grupos NH₂ de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH₂ del grupo amino en el rango de 5760 a 5788 cm⁻¹; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango de 5194 a 5198 cm⁻¹; a continuación se observó que en el rango de 4945 a 4947 cm⁻¹ los picos pertenecen a la combinación de los NH₂ que forman la Amina primaria; en el

rango de 4723 a 4724 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 42
AMINA EDR-148 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN
INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	EDR-148	EDR-148 20A	EDR-148 30B	EDR-148 93A	EDR-148 NA+
Grupos NH_2	6540	6540	6538	6538	6539
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5760	5771	5771	5773	5788
Vibración de Estiramiento de los OH	5198	5194	5197	5197	5197
Combinación de los NH_2	4945	4945	4946	4946	4947
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4723	4724	4724	4724	4724

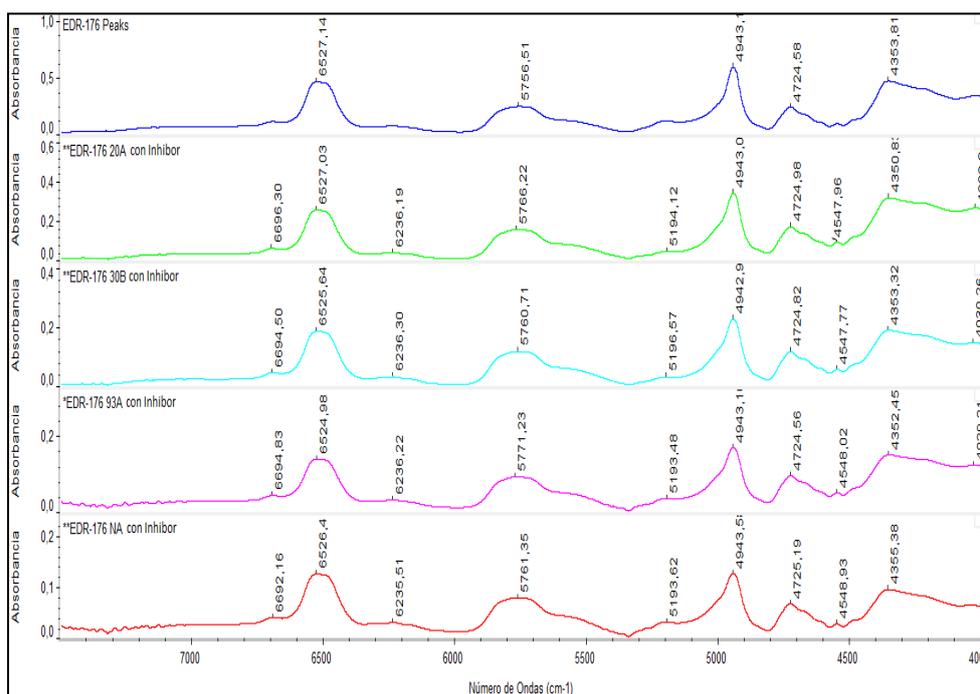


FIGURA 4.198 AMINA EDR-176 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina EDR-176, arcillas e inhibidor obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.198. En el rango de 6525 a 6527 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5757 a 5766 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango de 5194 a 5198 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4943 a 4944 cm^{-1} los picos pertenecen

a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4724 a 4725 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 43
AMINA EDR-176 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON
INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	EDR-176	EDR-176 20A	EDR-176 30B	EDR-176 93A	EDR-176 NA+
Grupos NH_2	6527	6527	6526	6525	6526
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5757	5766	5761	5761	5761
Vibración de Estiramiento de los OH	5198	5194	5197	5194	5194
Combinación de los NH_2	4943	4943	4943	4943	4944
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4725	4725	4725	4725	4725

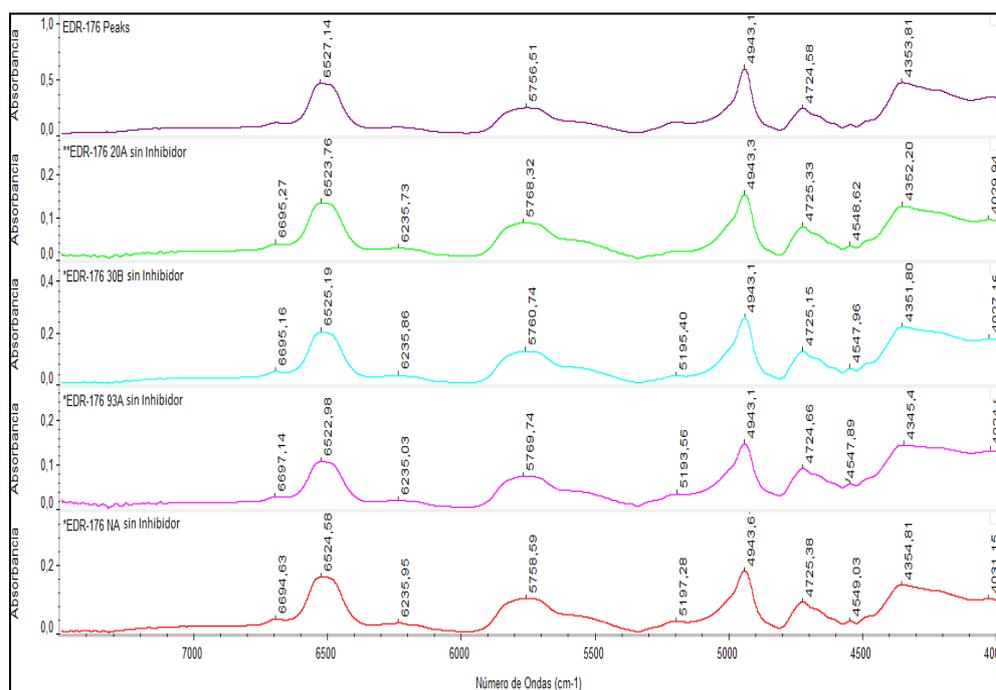


FIGURA 4.199 AMINA EDR-176 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN INHIBIDOR

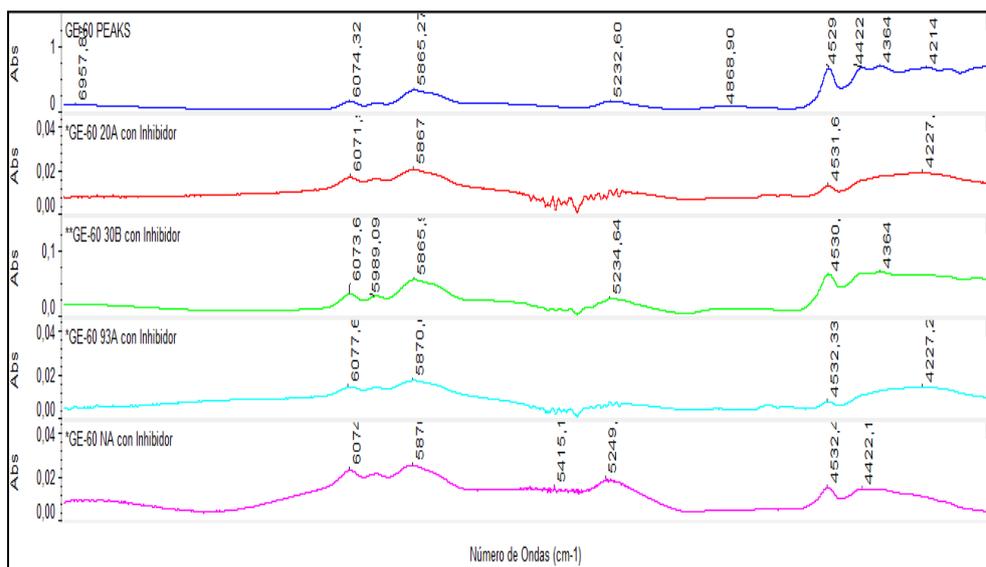
Se analizaron las diferentes mezclas con amina EDR-176 y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.199

En el rango de 6523 a 6527 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5757 a 5770 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango de 5194 a 5198 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4943 a 4944 cm^{-1} los picos pertenecen

a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4724 a 4725 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 44
AMINA EDR-176 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN
INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	EDR-176	EDR-176 20A	EDR-176 30B	EDR-176 93A	EDR-176 NA+
Grupos NH_2	6527	6524	6525	6523	6525
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5757	5768	5761	5770	5769
Vibración de Estiramiento de los OH	5198	5196	5195	5194	5197
Combinación de los NH_2	4943	4943	4943	4943	4944
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4725	4725	4725	4725	4725



**FIGURA 4.200 GE-60 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS
SIN HORNO**

Se analizaron las diferentes mezclas con resina GE-60, arcillas e inhibidor obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.200. En el rango de 6960 a 6972 cm^{-1} se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6071 a 6077 cm^{-1} los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de 5987 a 5990 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición del pico del primer armónico de todos los CH_2 del grupo epóxico e el rango de 5865 a 5871 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 5232 a

5236 cm^{-1} pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH₂ y CH; en el rango de 4868 a 4879 cm^{-1} se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH₂ del grupo epóxico en el rango de 4529 a 4532 cm^{-1} ; en el rango de 4421 a 4422 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH más la deformación simétrica del CH₂ del grupo epóxico; en el rango de 4361 a 4364 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH₂ mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH₂ mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4220 a 4227 cm^{-1} ; por último se pudo observar a los 4143 a 4000 cm^{-1} el pico de los grupos complejos de la mezcla.

TABLA 45

GE-60 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	GE-60	GE-60 20A con Inhibidor	GE-60 30B con Inhibidor	GE-60 93A con Inhibidor	GE-60 NA+ con Inhibidor
Primer Armónico: Estiramiento de los grupos OH	6968	6972	6961	6960	6971
Primer Armónico: Estiramiento fundamental del grupo CH	6074	6071	6073	6077	6072
Primer Armónico de todos los grupos CH	5989	5989	5989	5987	5990
Primer Armónico de todos los grupos CH ₂	5866	5867	5865	5870	5871
OH debido a la humedad o combinación de CH ₂ y CH	5233	5236	5231	5235	5236
OH debido al enlace de hidrógeno a los grupos de oxígeno en la cadena	4869	4879	4868	4879	4879
CH fundamental asimetría de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica de epóxico	4530	4531	4530	4532	4532
CH fundamentales simétricos de estiramiento + CH ₂ deformación simétricos de epóxico	4422	4421	4421	4422	4422
CH ₂ Vibración simétrica de estiramiento + CH simétrica de deformación	4214	4227	4221	4227	4227
Grupos Complejos	4143-4000				

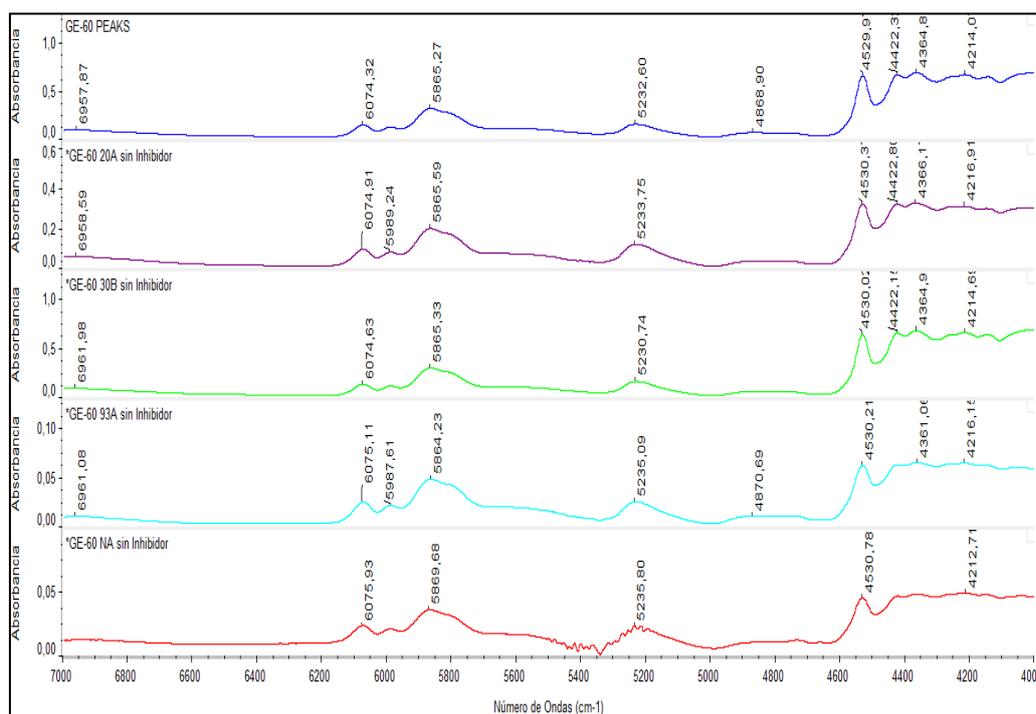


FIGURA 4.201 GE-60 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS

Se analizaron las diferentes mezclas con resina GE-60 y arcillas, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.201

En el rango de 6957 a 6961 cm⁻¹ se observó los picos del primer armónico debido a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo; a continuación se observó en el rango de los 6074 a 6076 cm⁻¹ los picos del primer armónico producto de la vibración de estiramiento fundamental de CH del grupo epóxico; se encontró el primer armónico de todos los CH del grupo epóxico en el rango de 5987 a 5990 cm⁻¹; se pudo apreciar la aparición del pico del primer

armónico de todos los CH₂ del grupo epóxico e el rango de 5864 a 5869 cm⁻¹; a continuación se observó que en el rango de 5230 a 5236 cm⁻¹ pertenece a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad o la presencia de la combinación del CH₂ y CH; en el rango de 4868 a 4870 cm⁻¹ se determinó la presencia a los OH debido al enlace de hidrógeno en los grupos de oxígeno de la cadena; además se encontró el estiramiento fundamental asimétrico del CH además de la deformación asimétrica del CH₂ del grupo epóxico en el rango de 4529 a 4530 cm⁻¹; en el rango de 4421 a 4422 cm⁻¹ se determinó los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH más la deformación simétrica del CH₂ del grupo epóxico; en el rango de 4361 a 4366 cm⁻¹ se determinó los picos de la vibración de estiramiento asimétrico del CH₂ mas la deformación asimétrica del mismo; los picos de la vibración de estiramiento simétrico del CH₂ mas la deformación simétrica del CH dado en el rango de 4212 a 4216 cm⁻¹; por último se pudo observar los pico de los grupos complejos de la mezcla.

TABLA 46

GE-60 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	GE-60	GE-60 20A	GE-60 30B	GE-60 93A	GE-60 NA+
Primer Armónico: Estiramiento de los grupos OH	6968	6959	6962	6961	6963
Primer Armónico: Estiramiento fundamental del grupo CH	6074	6075	6074	6076	6077
Primer Armónico de todos los grupos CH	5989	5989	5989	5987	5989
Primer Armónico de todos los grupos CH ₂	5866	5867	5865	5864	5870
OH debido a la humedad o combinación de CH ₂ y CH	5233	5234	5231	5235	5237
OH debido al enlace de hidrógeno a los grupos de oxígeno en la cadena	4869	4870	4868	4871	4872
CH fundamental asimetría de estiramiento + CH ₂ deformación asimétrica de epóxico	4530	4530	4530	4530	4531
CH fundamentales simétricos de estiramiento + CH ₂ deformación simétricos de epóxico	4422	4423	4422	4422	4425
CH ₂ Vibración simétrica de estiramiento + CH simétrica de deformación	4214	4217	4215	4216	4213
Grupos Complejos	4143-4000				

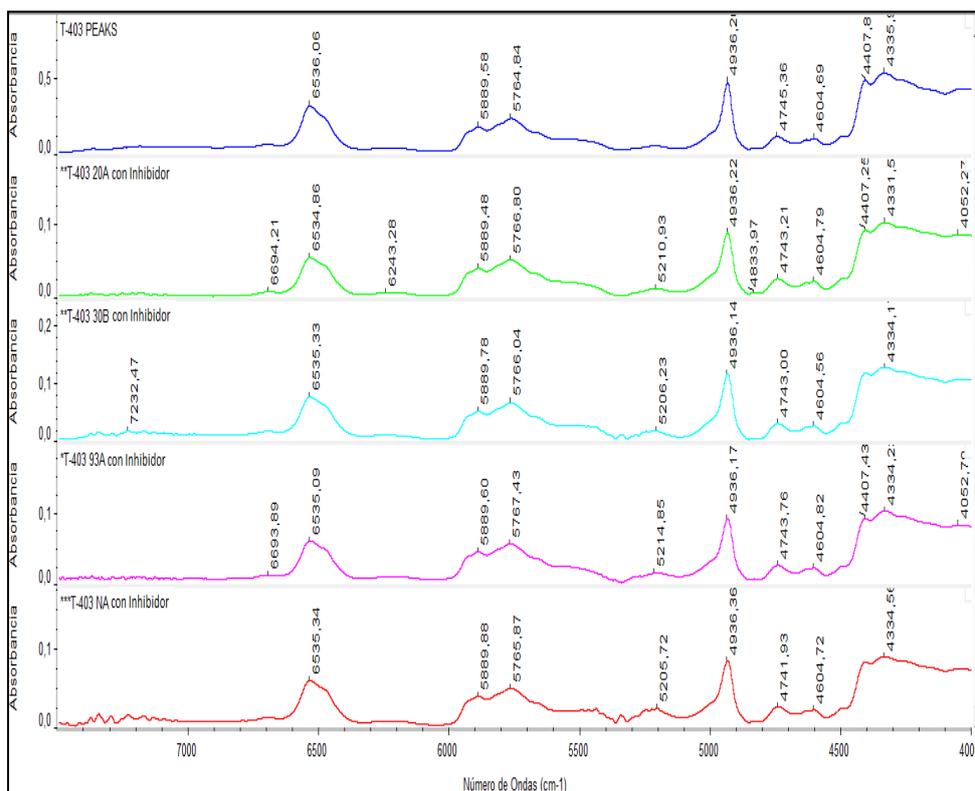


FIGURA 4.202 AMINA T-403 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina T-403, arcillas e inhibidor obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.202. En el rango de 6534 a 6536 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; a continuación se observó en el rango de 5889 a 5890 cm^{-1} el primer armónico de todos los CH de los grupos metilo; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5764 a 5767 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la

vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango de 5206 a 5215 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4936 a 4937 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4741 a 4745 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 47
AMINA T-403 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON
INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	T-403	T-403 20A	T-403 30B	T-403 93A	T-403 NA+
Grupos NH_2	6536	6535	6535	6535	6535
Primer Armónico: grupo CH	5890	5890	5890	5890	5889
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5765	5766	5766	5767	5766
Vibración de Estiramiento de los OH	5214	5211	5206	5215	5206
Combinación de los NH_2	4936	4936	4936	4936	4936
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4745	4743	4743	4744	4742

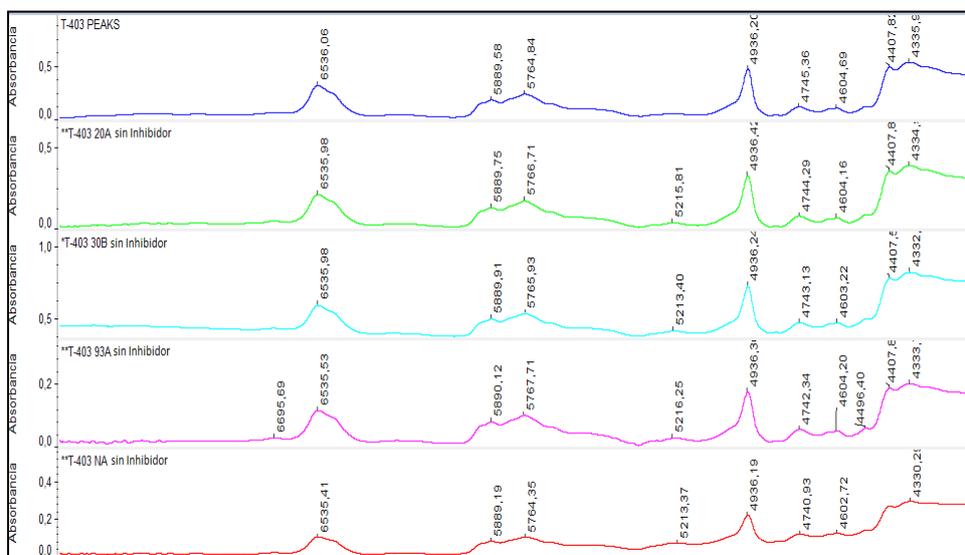


FIGURA 4.203 AMINA T-403 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina T-403 y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.203

En el rango de 6535 a 6536 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se observó además que en el rango de 5889 a 5890 cm^{-1} el primer armónico de todos los CH de los grupos metilo; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5764 a 5768 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango de 5213 a 5216 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4936 a 4937 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2

que forman la Amina primaria; en el rango de 4740 a 4745 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 48
AMINA T-403 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN
INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	T-403	T-403 20A	T-403 30B	T-403 93A	T-403 NA+
Grupos NH_2	6536	6536	6536	6536	6535
Primer Armónico: grupo CH	5890	5890	5890	5890	5889
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5765	5767	5766	5768	5764
Vibración de Estiramiento de los OH	5214	5216	5213	5216	5213
Combinación de los NH_2	4936	4936	4936	4936	4936
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4745	4744	4743	4742	4741

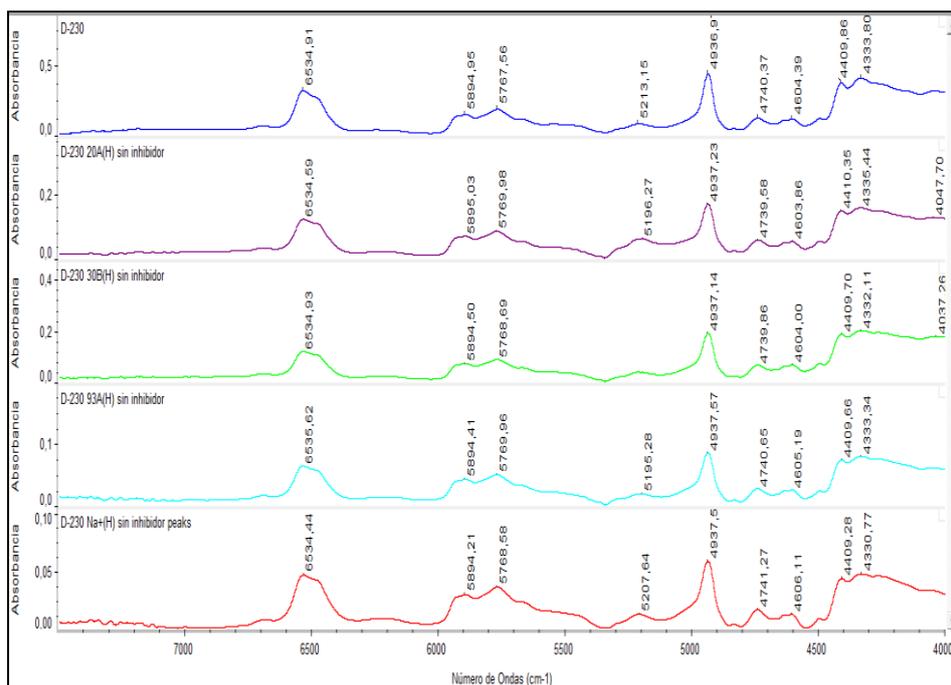


FIGURA 4.204 AMINA D-230 CON DIFERENTES NANOARCILLAS CON HORNO, SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina D-230 y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.204

En el rango de 6533 a 6535 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; a continuación se observó en el rango de 5894 a 5895 cm^{-1} el primer armónico de todos los CH de los grupos metilo; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5767 a 5770 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango

de 5201 a 5213 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4936 a 4937 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4737 a 4740 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 49
AMINA D-230 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON
HORNO SIN INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	D-230	D-230 20A	D-230 30B	D-230 93A	D-230 NA+
Grupos NH_2	6535	6535	6534	6536	6534
Primer Armónico: grupo CH	5895	5895	5895	5894	5894
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5768	5770	5769	5770	5769
Vibración de Estiramiento de los OH	5213	5201	5198	5195	5208
Combinación de los NH_2	4937	4937	4937	4937	4938
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4740	4738	4740	4738	4741

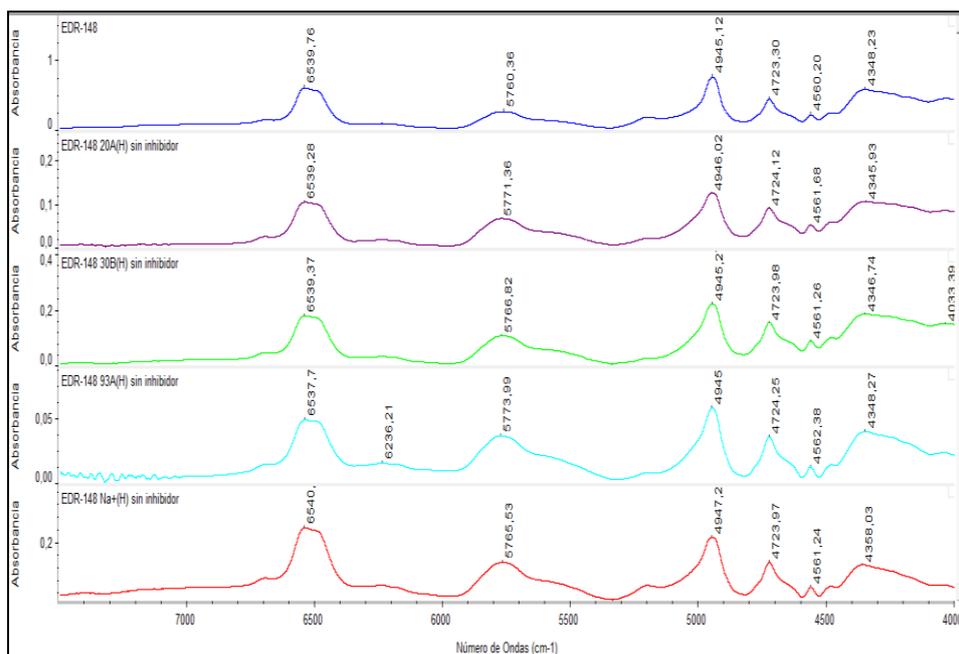


FIGURA 4.205 AMINA EDR-148 CON DIFERENTES NANOARCILLAS CON HORNO, SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina EDR-148 y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.205

En el rango de 6538 a 6540 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5760 a 5774 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango de 5194 a 5198 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4945 a 4947 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el

rango de 4723 a 4724 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 50
AMINA EDR-148 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON
HORNO SIN INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	EDR-148	EDR-148 20A	EDR-148 30B	EDR-148 93A	EDR-148 NA+
Grupos NH_2	6540	6539	6539	6538	6540
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5760	5771	5767	5774	5766
Vibración de Estiramiento de los OH	5198	5194	5197	5197	5197
Combinación de los NH_2	4945	4946	4945	4945	4947
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4723	4724	4724	4724	4724

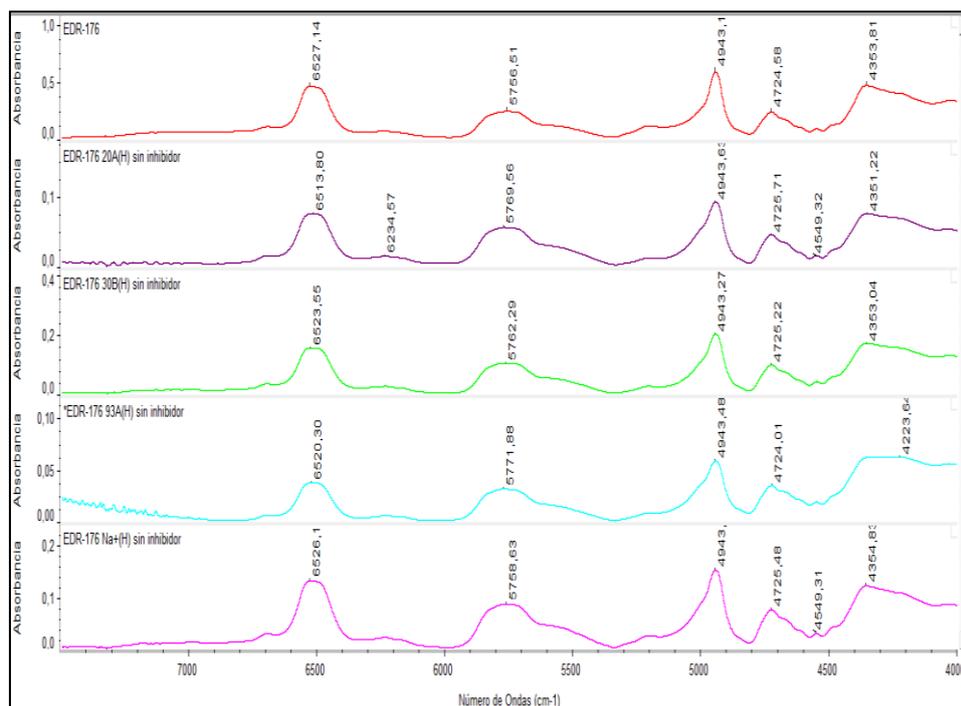


FIGURA 4.206 AMINA EDR-176 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON HORNO SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina EDR-176 y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.206

En el rango de 6513 a 6527 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla, se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5757 a 5772 cm^{-1} , a continuación se observó que en el rango de 4943 a 4944 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4725 a 4726 cm^{-1} se

determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH₂ del grupo amino.

TABLA 51
AMINA EDR-176 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS
CON HORNO SIN INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	EDR-176	EDR-176 20A	EDR-176 30B	EDR-176 93A	EDR-176 NA+
Grupos NH ₂	6527	6514	6526	6520	6526
Primer Armónico: de todos los grupos CH ₂	5757	5770	5762	5772	5769
Combinación de los NH ₂	4943	4944	4943	4943	4944
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH ₂	4725	4726	4725	4724	4726

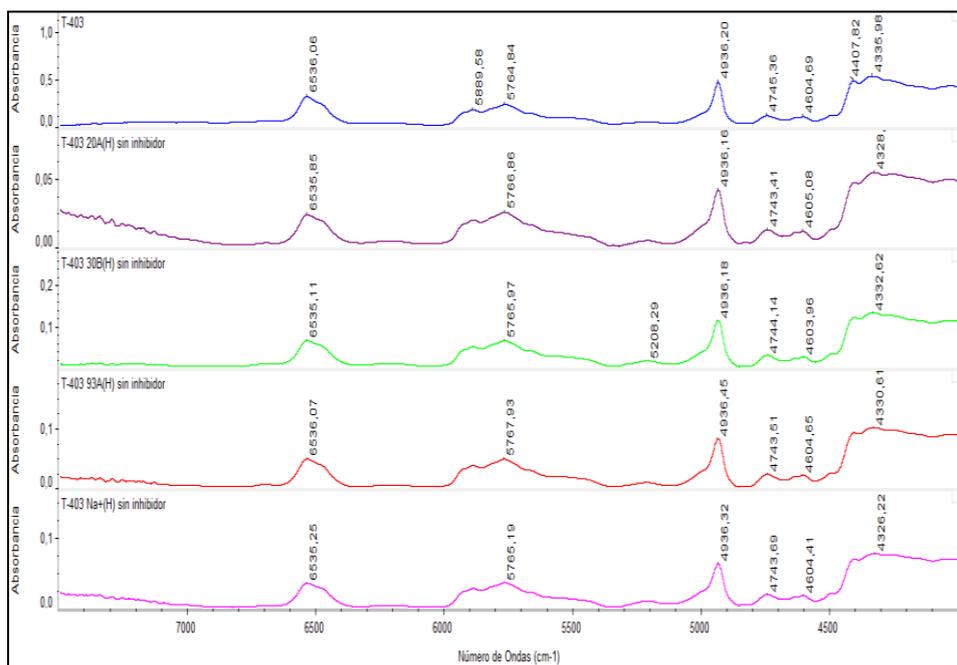


FIGURA 4.207 AMINA T-403 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON HORNO SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina T-403 y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.207

En el rango de 6535 a 6536 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se observó a demás que en el rango de 5889 a 5890 cm^{-1} el primer armónico de todos los CH de los grupos metilo; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5764 a 5768 cm^{-1} ; se pudo apreciar la aparición de los picos que pertenecen a la vibración de estiramiento del OH debido a la humedad en el rango

de 5213 a 5216 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4936 a 4937 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4743 a 4745 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 52
AMINA T-403 CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON
HORNO SIN INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	T-403	T-403 20A	T-403 30B	T-403 93A	T-403 NA+
Grupos NH_2	6536	6536	6536	6535	6535
Primer Armónico: grupo CH	5890	5890	5890	5890	5889
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5765	5767	5768	5768	5764
Vibración de Estiramiento de los OH	5214	5216	5213	5216	5213
Combinación de los NH_2	4936	4936	4936	4936	4936
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4745	4743	4744	4744	4744

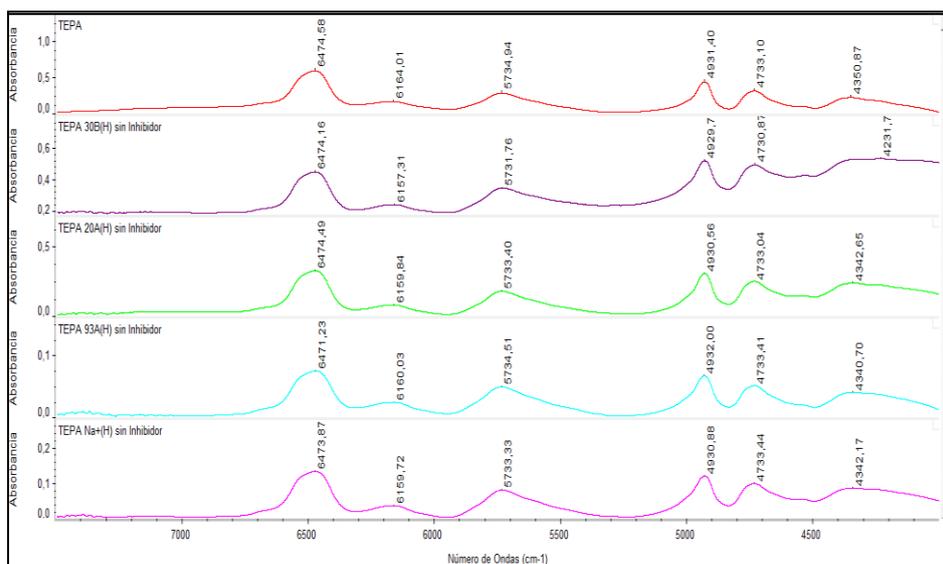


FIGURA 4.208 AMINA TEPA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON HORNO SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina TEPA y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.208

En el rango de 6471 a 6475 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5732 a 5735 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4930 a 4932 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4743 a 4745 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 53
AMINA TEPA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON
HORNO SIN INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	TEPA	TEPA 20A	TEPA 30B	TEPA 93A	TEPA NA+
Grupos NH ₂	6474	6474	6475	6471	6474
Primer Armónico: de todos los grupos CH ₂	5734	5732	5733	5735	5733
Combinación de los NH ₂	4931	4930	4931	4932	4931
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH ₂	4733	4731	4733	4733	4733

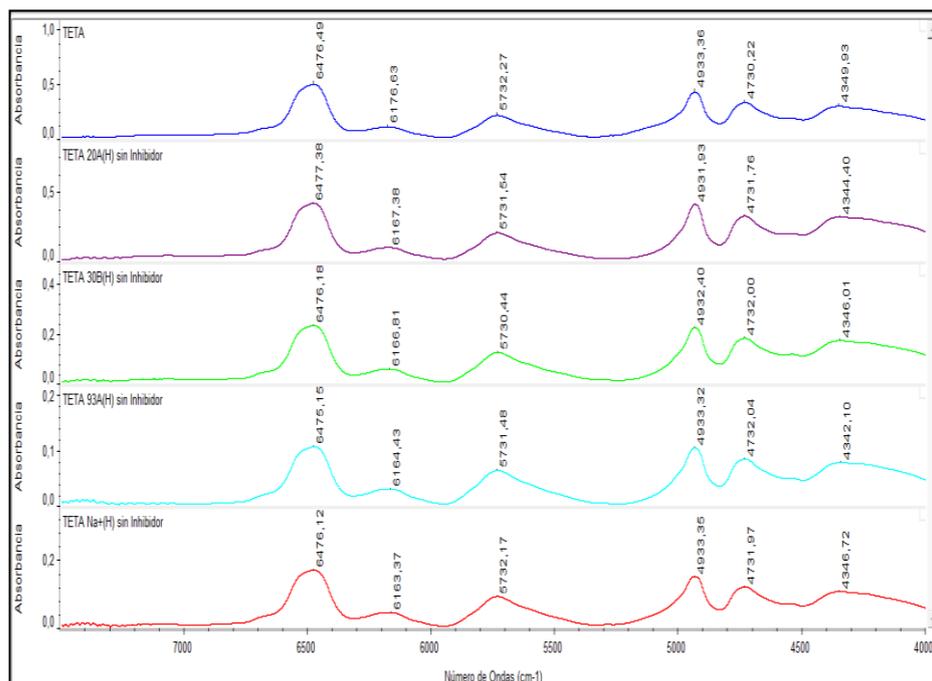


FIGURA 4.209 TETA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS
CON HORNO SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina TETA y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.209

En el rango de 6474 a 6477 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5730 a 5732 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4932 a 4933 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4730 a 4732 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 54
AMINA TETA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS CON
HORNO SIN INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	TETA	TETA 20A	TETA 30B	TETA 93A	TETA NA+
Grupos NH_2	6474	6477	6476	6475	6476
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5732	5732	5730	5731	5732
Combinación de los NH_2	4933	4932	4932	4933	4933
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4730	4732	4732	4732	4732

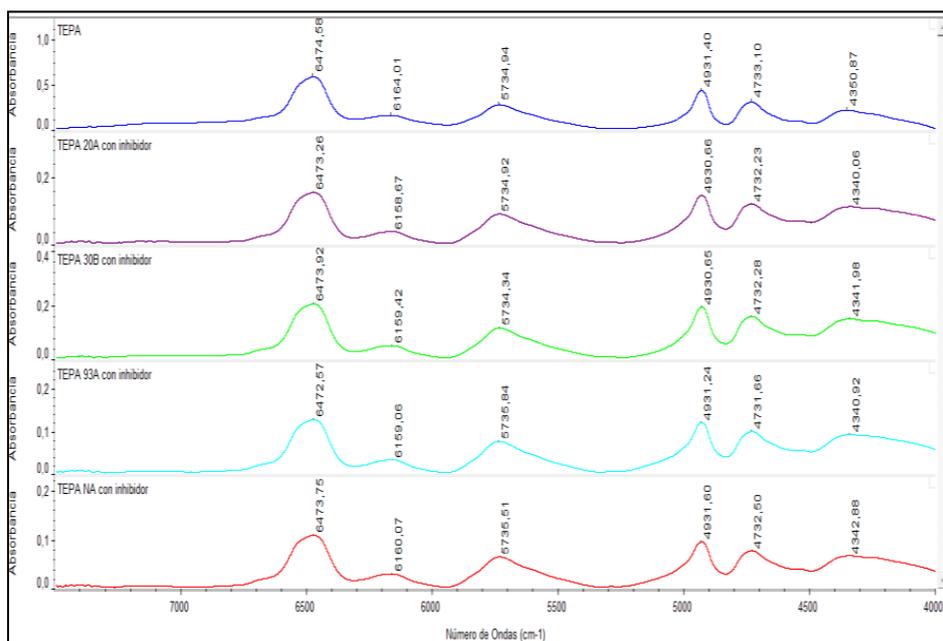


FIGURA 4.210 AMINA TEPA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO CON INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina TEPA y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.210

En el rango de 6471 a 6475 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5732 a 5735 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4930 a 4932 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4731 a 4733 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 55
AMINA TEPA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN
HORNO CON INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	TEPA	TEPA 20A	TEPA 30B	TEPA 93A	TEPA NA+
Grupos NH ₂	6474	6474	6475	6471	6474
Primer Armónico: de todos los grupos CH ₂	5734	5732	5733	5735	5733
Combinación de los NH ₂	4931	4930	4931	4932	4931
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH ₂	4733	4731	4733	4733	4733

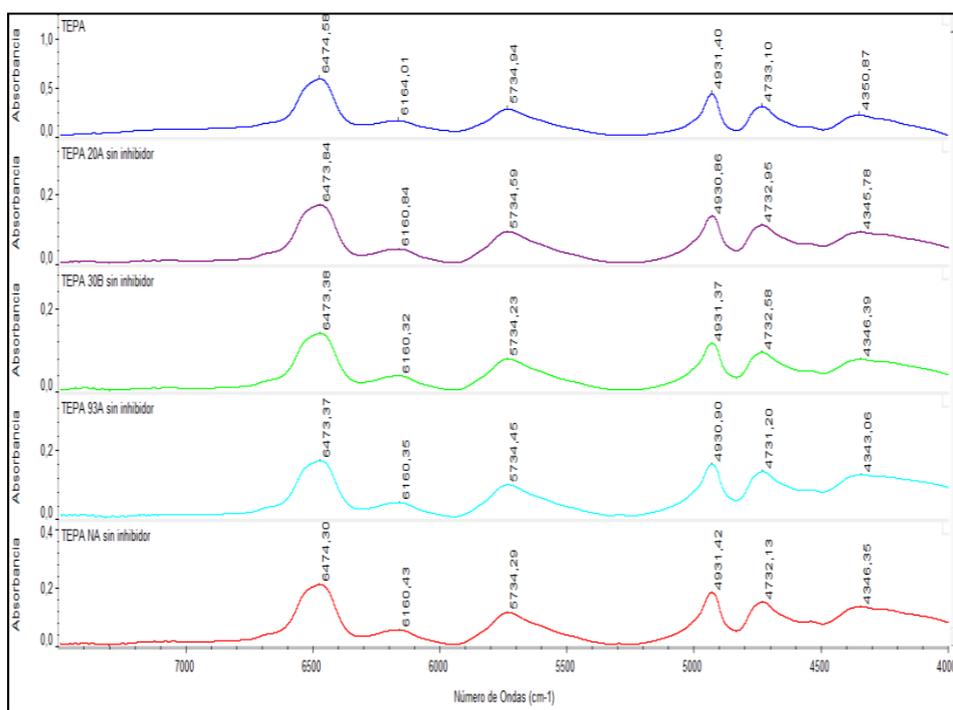


FIGURA 4.211 AMINA TEPA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina TEPA y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.211

En el rango de 6471 a 6475 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5732 a 5735 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4930 a 4932 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4731 a 4733 cm^{-1} se

determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH₂ del grupo amino.

TABLA 56
AMINA TEPA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN
HORNO SIN INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	TEPA	TEPA 20A	TEPA 30B	TEPA 93A	TEPA NA+
Grupos NH ₂	6474	6474	6475	6471	6474
Primer Armónico: de todos los grupos CH ₂	5734	5732	5733	5735	5733
Combinación de los NH ₂	4931	4930	4931	4932	4931
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH ₂	4733	4731	4733	4733	4733

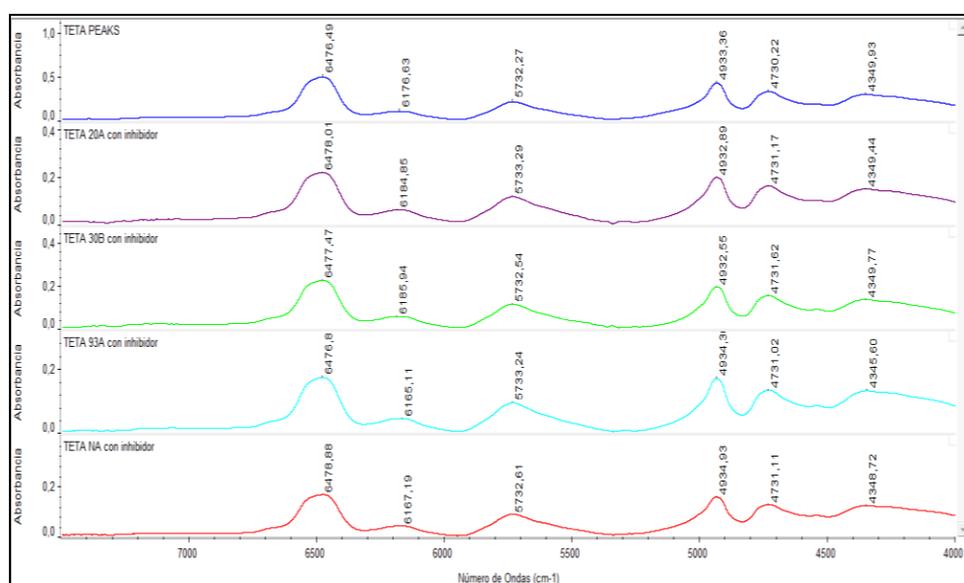


FIGURA 4.212 AMINA TETA CON LAS DIFERENTES
NANOARCILLAS SIN HORNO CON INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina TETA y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.212

En el rango de 6477 a 6479 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5732 a 5733 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4933 a 4935 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4730 a 4732 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 57
AMINA TETA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN
HORNO CON INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm^{-1})				
	TETA	TETA 20A	TETA 30B	TETA 93A	TETA NA+
Grupos NH_2	6477	6478	6477	6477	6479
Primer Armónico: de todos los grupos CH_2	5732	5733	5733	5733	5733
Combinación de los NH_2	4933	4933	4933	4934	4935
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH_2	4730	4731	4732	4731	4731

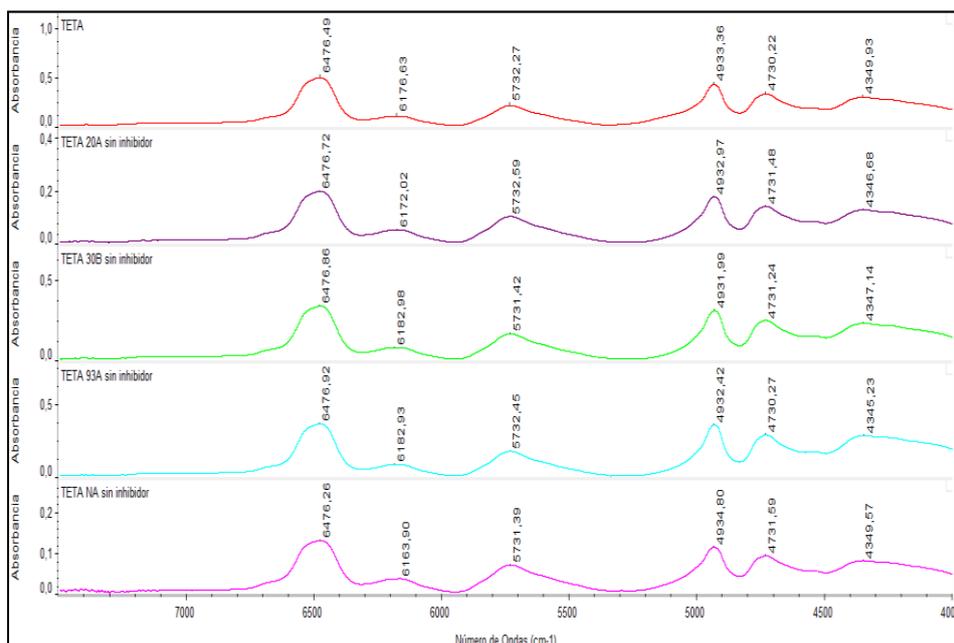


FIGURA 4.213 AMINA TETA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN HORNO SIN INHIBIDOR

Se analizaron las diferentes mezclas con amina TETA y arcillas obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.213

En el rango de 6476 a 6477 cm^{-1} se observó los picos de los grupos NH_2 de la mezcla; se determinó también los picos del primer armónico de todos los CH_2 del grupo amino en el rango de 5731 a 5733 cm^{-1} ; a continuación se observó que en el rango de 4932 a 4935 cm^{-1} los picos pertenecen a la combinación de los NH_2 que forman la Amina primaria; en el rango de 4730 a 4732 cm^{-1} se determinó los picos de la vibración de estiramiento de CH más la deformación de CH_2 del grupo amino.

TABLA 58
AMINA TETA CON LAS DIFERENTES NANOARCILLAS SIN
HORNO SIN INHIBIDOR

Grupos	Wavenumber(cm-1)				
	TETA	TETA 20A	TETA 30B	TETA 93A	TETA NA+
Grupos NH ₂	6476	6477	6477	6477	6476
Primer Armónico: de todos los grupos CH ₂	5732	5733	5731	5732	5731
Combinación de los NH ₂	4933	4933	4932	4932	4935
Estiramiento de los CH + Deformación de los CH ₂	4730	4731	4731	4730	4732

4.2 Análisis de Los Nanocompuestos

Basados en los ensayos de Asentamiento y Termogravimétrico se escogió la Resina GE-60 y las arcillas 30B y 93A para realizar el proceso de curado durante un lapso de tiempo de 144 horas aplicando los respectivos agentes curadores (aminas) a las mezclas realizadas, monitoreándose constantemente.

A continuación se muestran las bases comparativas para este ensayo las cuáles son las mezclas entre el epóxico y las aminas:

GE-60 con EDR-148, GE-60 con EDR-176, GE-60 con T-403, GE-60 con D-230, GE-60 con TETA, GE-60 con TEPA

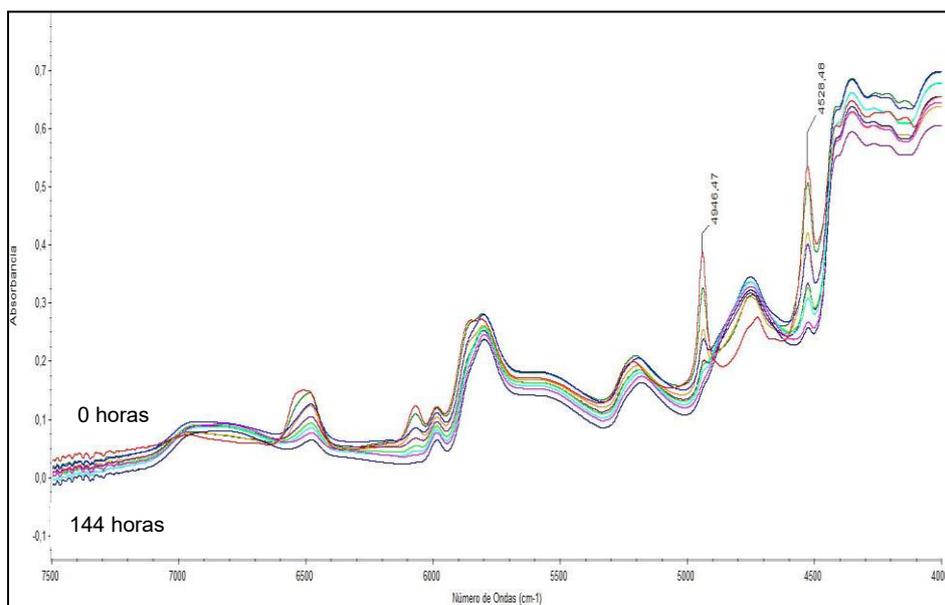


FIGURA 4.214 GE-60 CON EDR-148 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS.

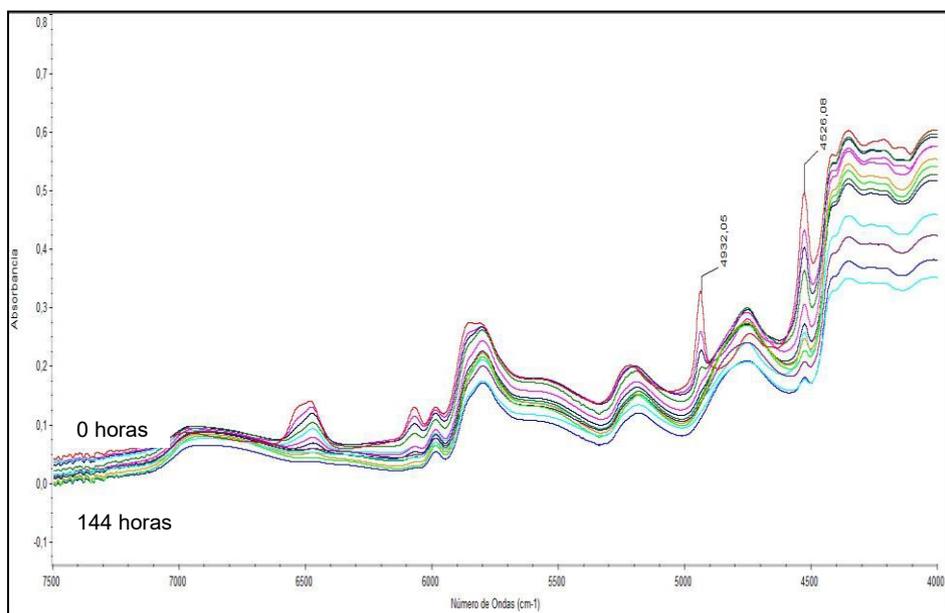


FIGURA 4.215 GE-60 CON EDR-176 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

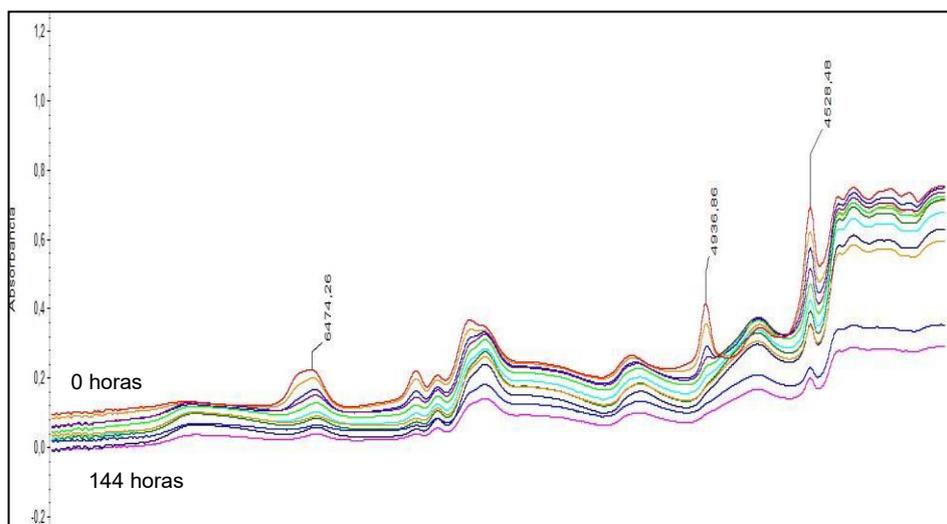


FIGURA 4.216 GE-60 CON T-403 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

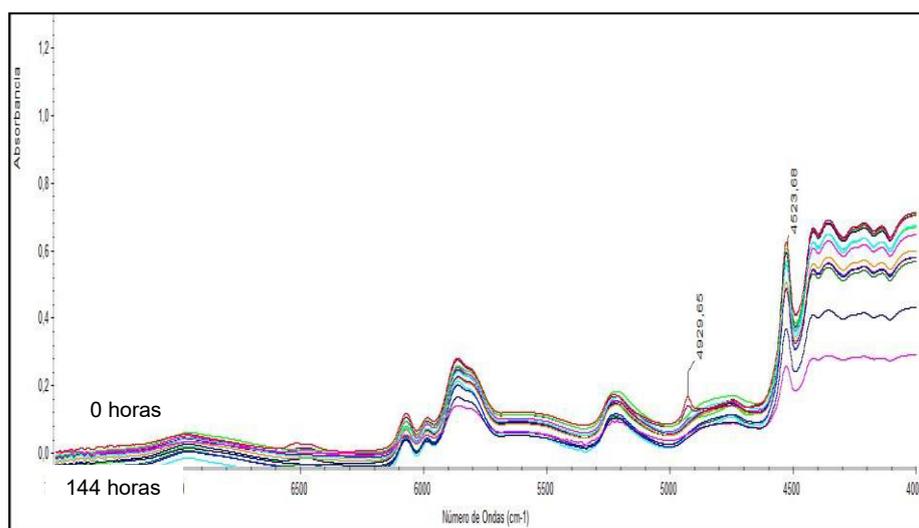


FIGURA 4.217 GE-60 CON D-230 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

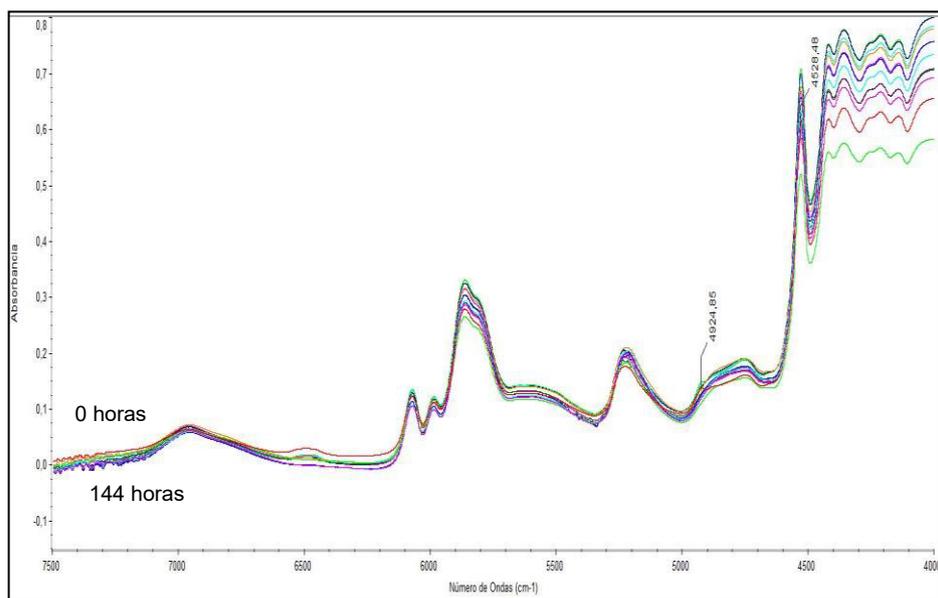


FIGURA 4.218 GE-60 CON TETA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

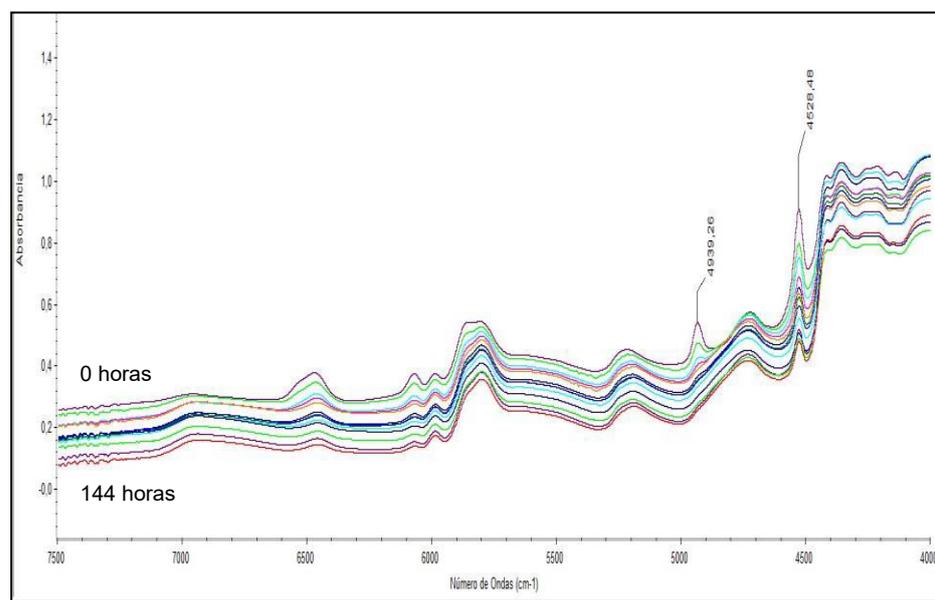


FIGURA 4.219 GE-60 CON TEPA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

En las figuras 4.214 hasta la 4.219 se observa la disminución del pico 4939 el cual corresponde a la amina y el pico 4528 que corresponde al epóxico, en donde se distingue la disminución de los mismos debido al efecto de curado.

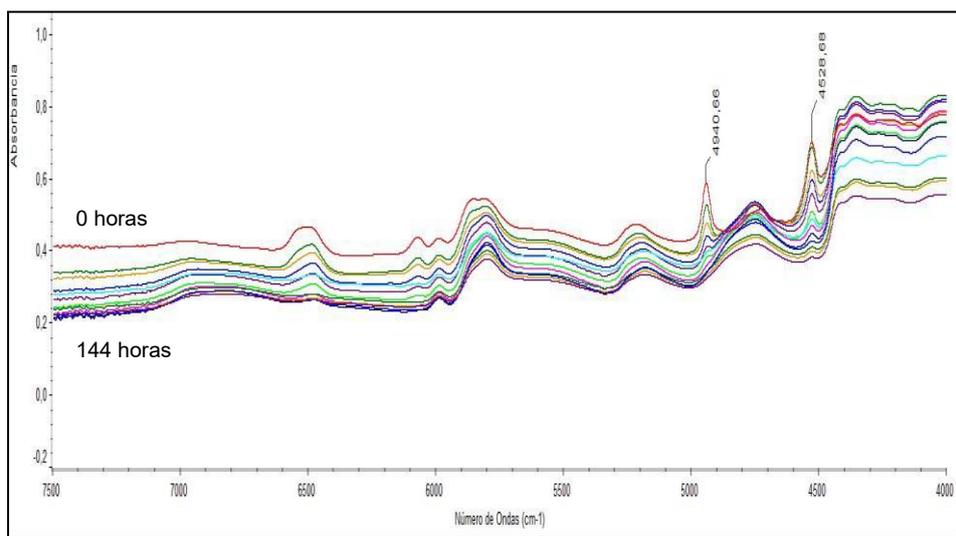


FIGURA 4.220 GE-60 30B EDR-148 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

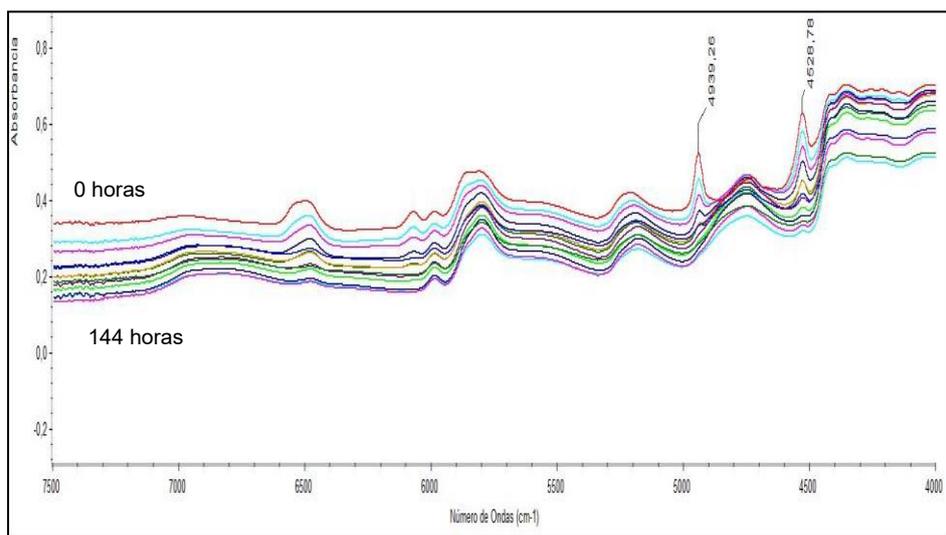


FIGURA 4.221 GE-60 30B-CA EDR-148 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

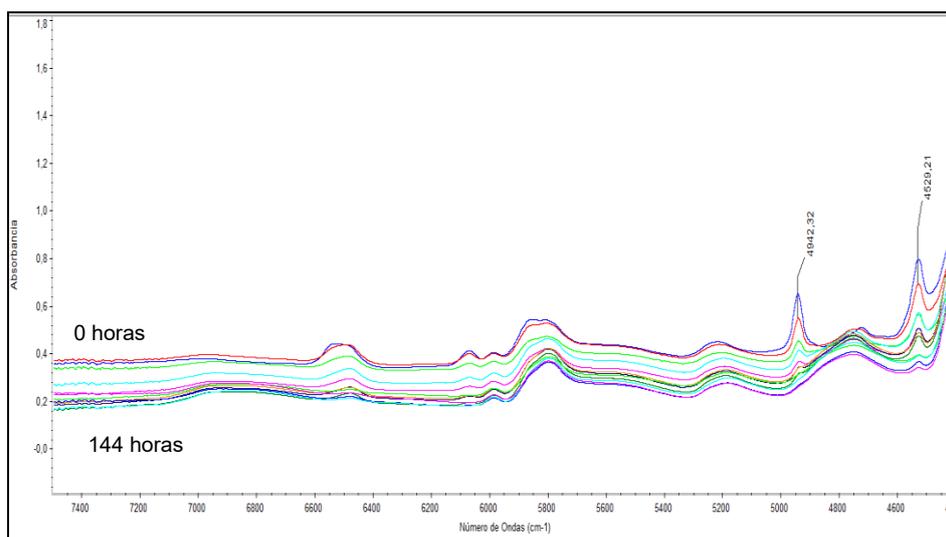


FIGURA 4.222 GE-60 93A EDR-148 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

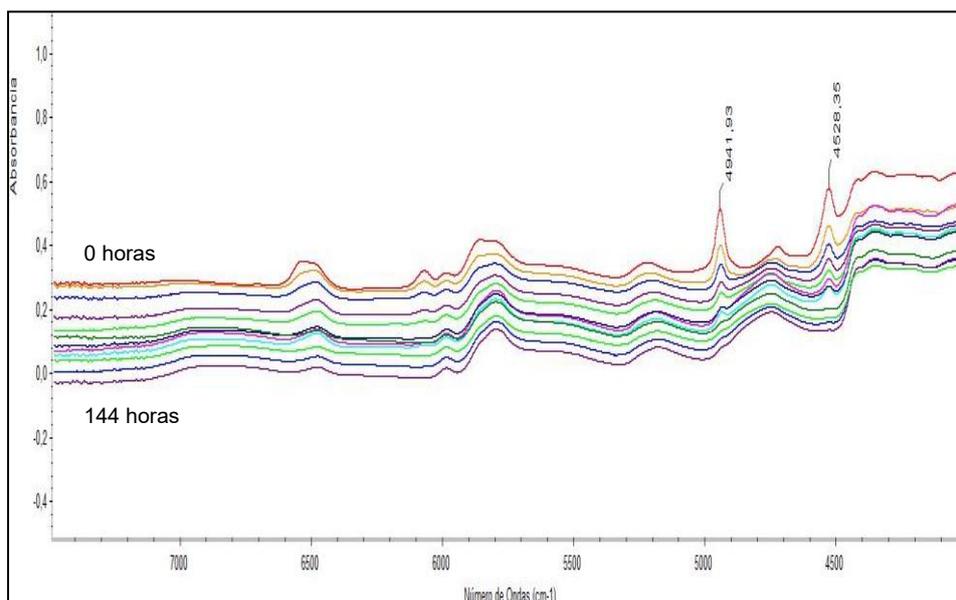


FIGURA 4.223 GE-60 93A-CA EDR-148 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

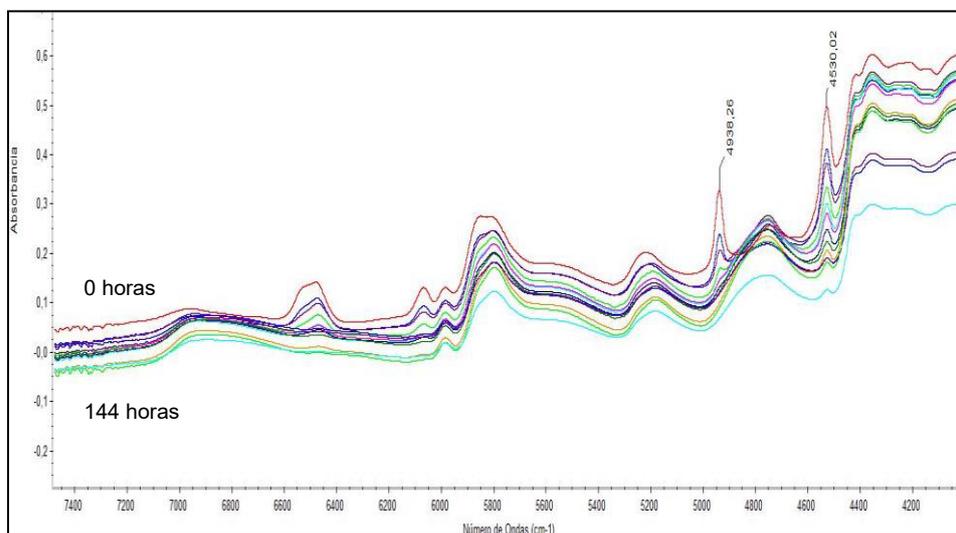


FIGURA 4.224 GE-60 30B EDR-176 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

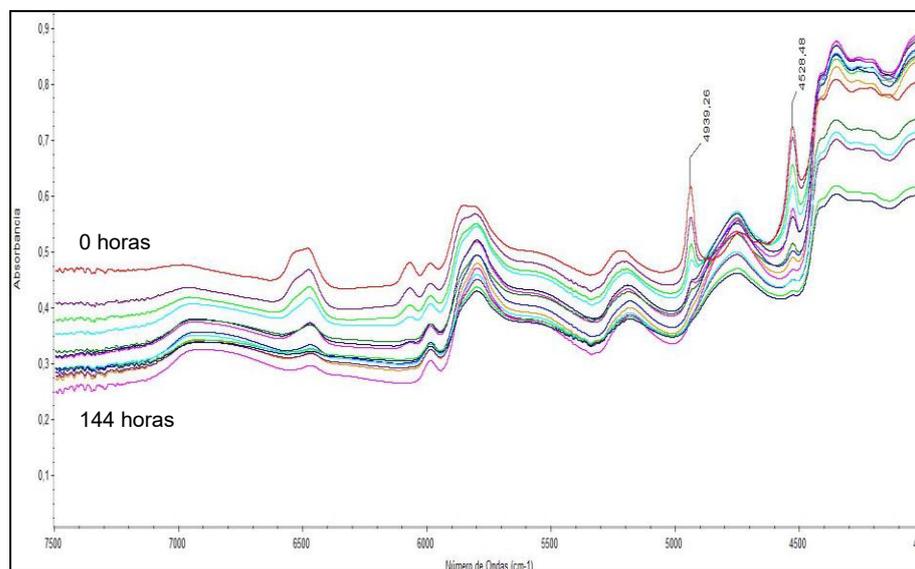


FIGURA 4.225 GE-60 30B-CA EDR-176 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

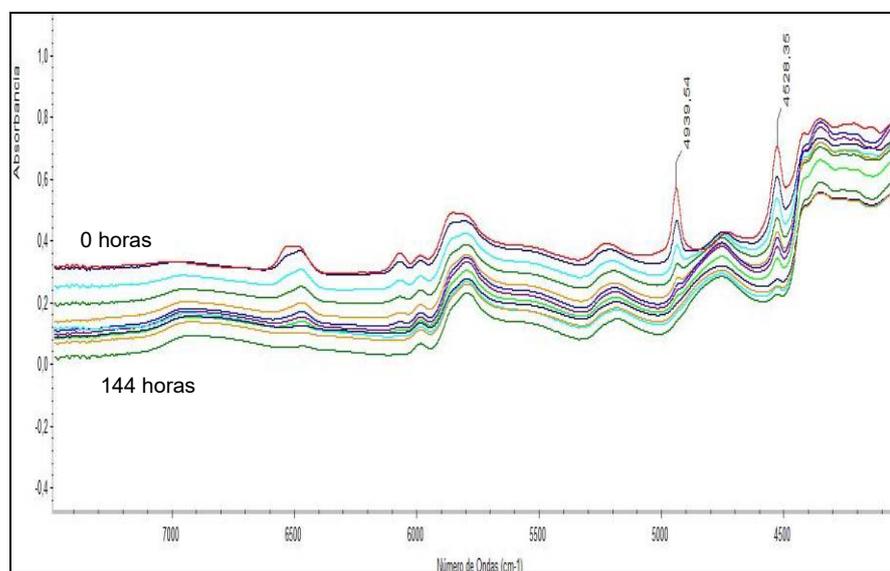
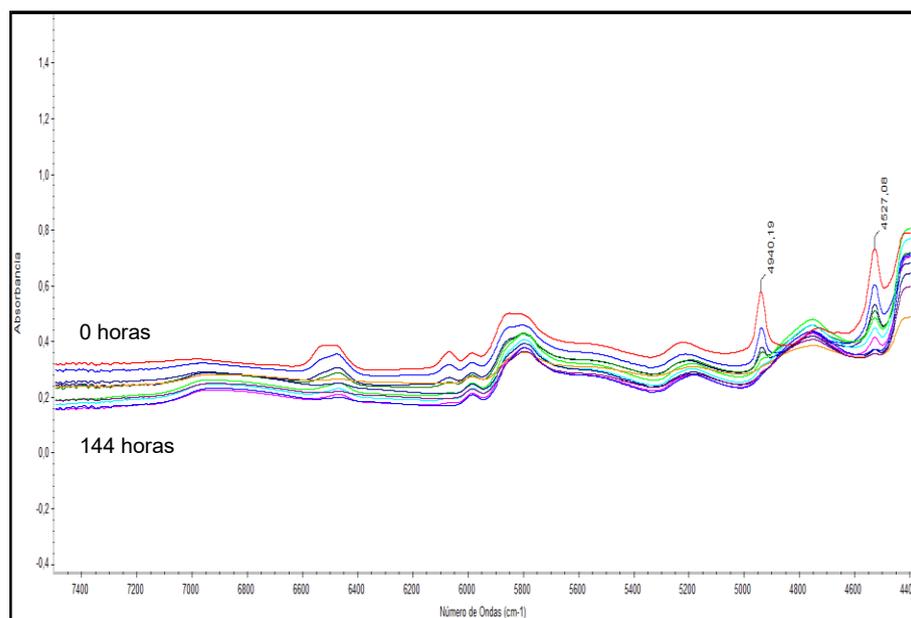
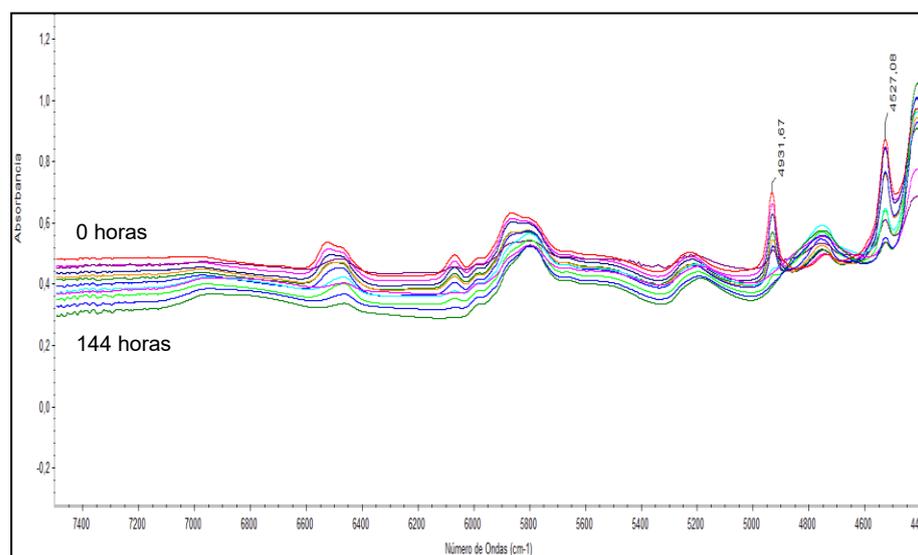


FIGURA 4.226 GE-60 93A EDR-176 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS



**FIGURA 4.227 GE-60 93A-CA EDR-176 Y TIEMPO DE CURADO:
0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS**



**FIGURA 4.228 GE-60 30B D-230 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5,
3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS**

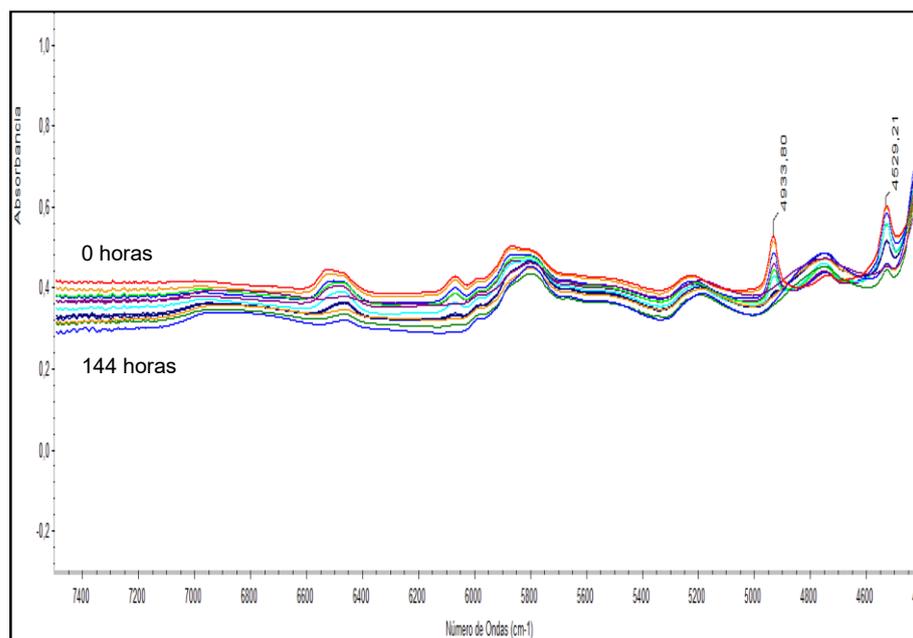


FIGURA 4.229 GE-60 30B-CA D-230 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

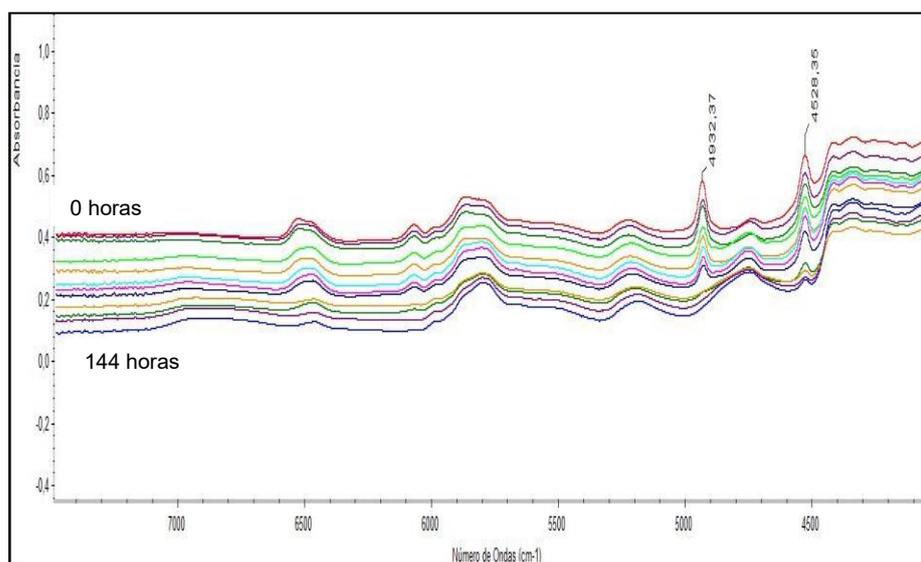


FIGURA 4.230 GE-60 93A D-230 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

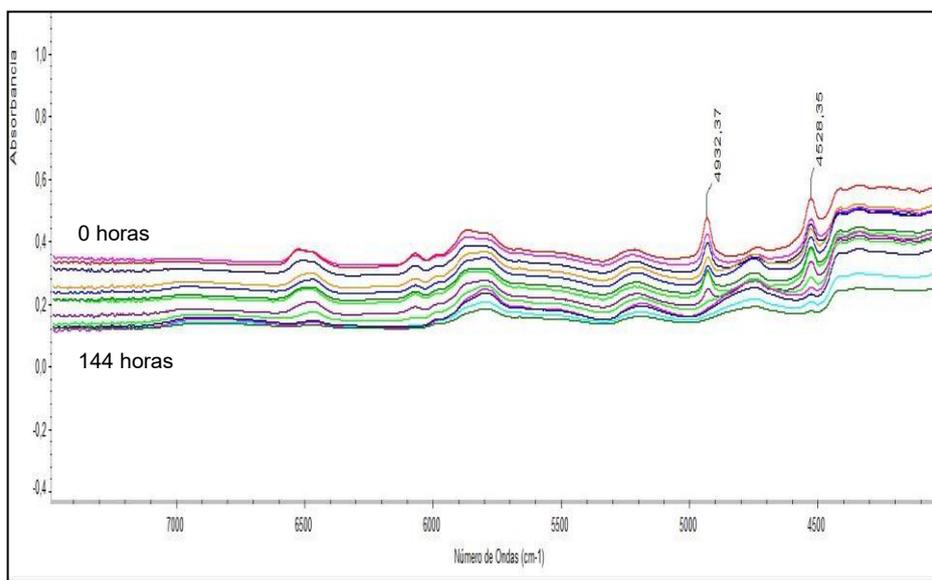


FIGURA 4.231 GE-60 93A-CA D-230 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

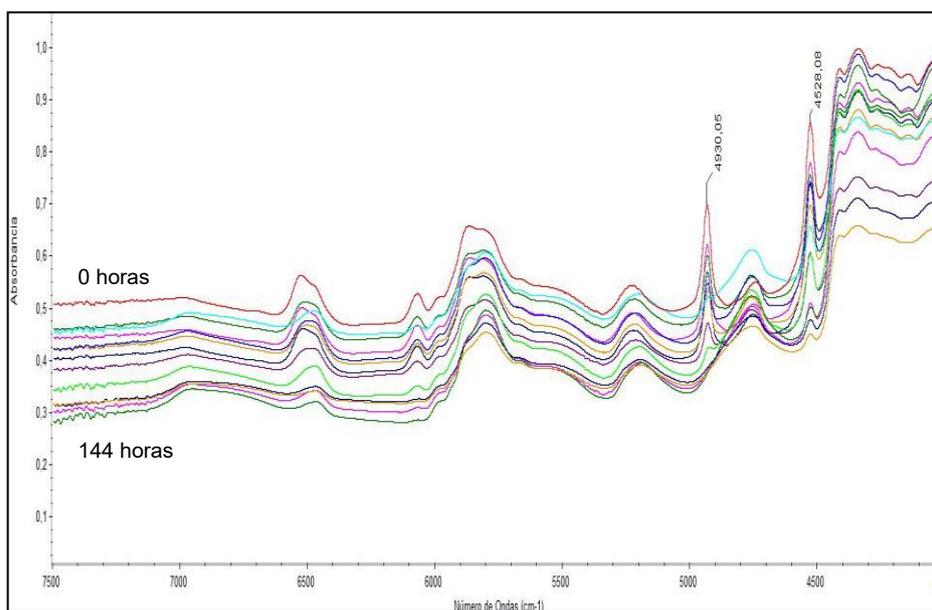


FIGURA 4.232 GE-60 30B T-403 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

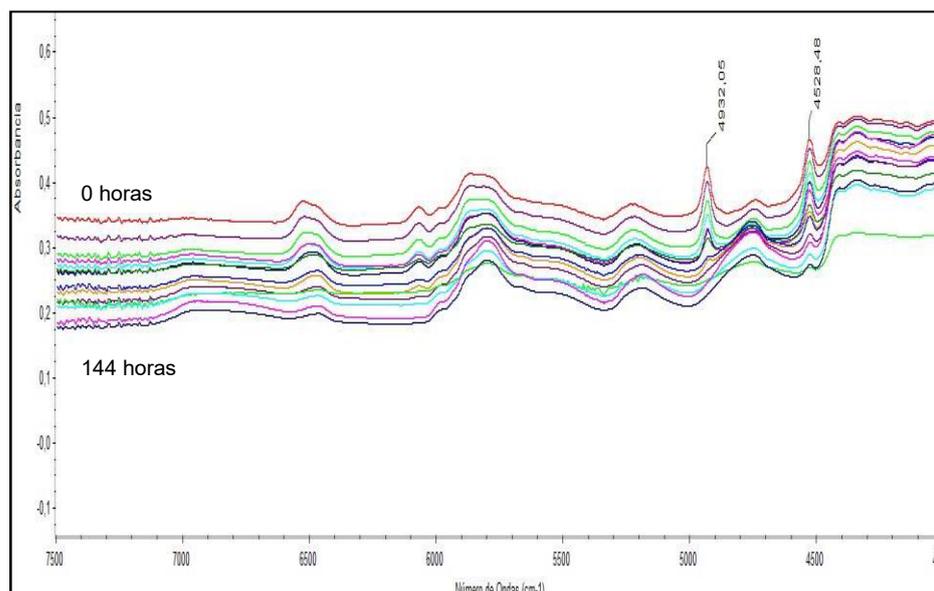


FIGURA 4.233 GE-60 30B-CA T-403 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

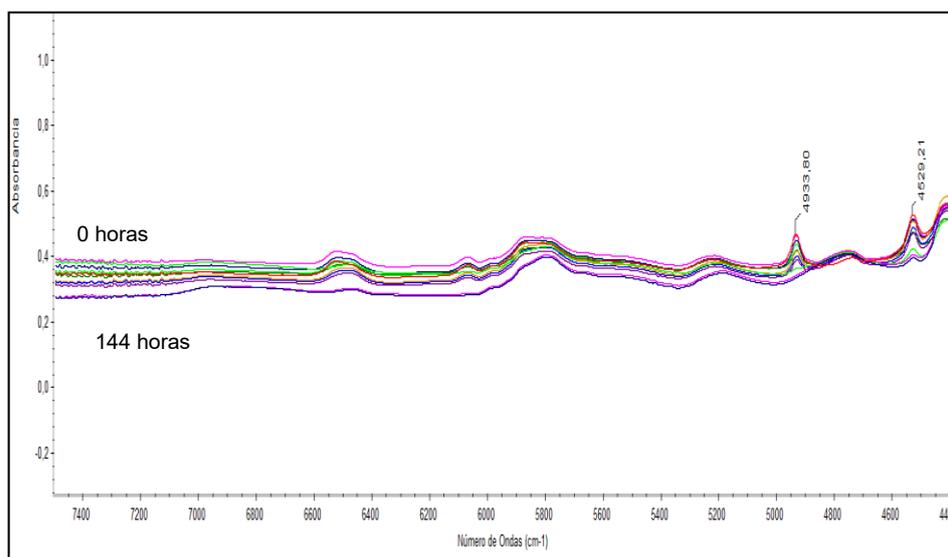


FIGURA 4.234 GE-60 93A T-403 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

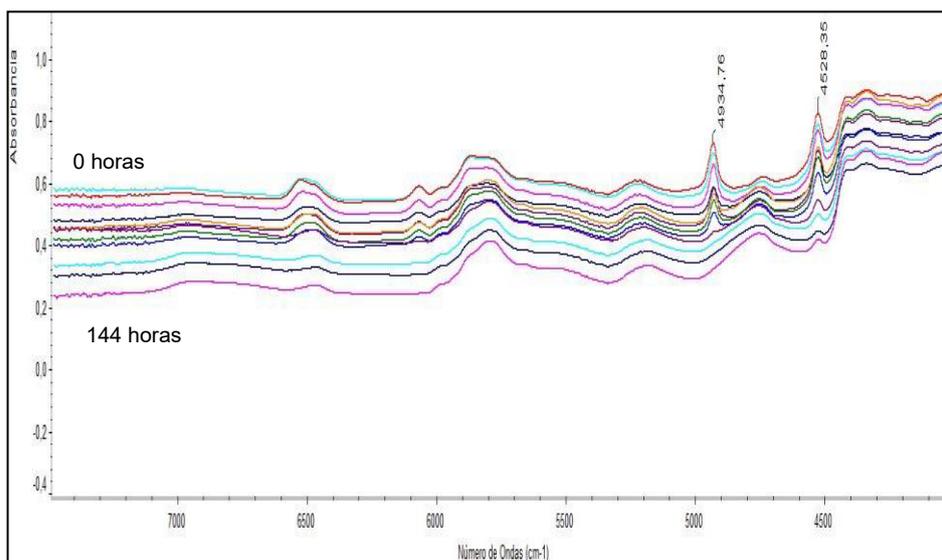


FIGURA 4.235 GE-60 93A-CA T-403 Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

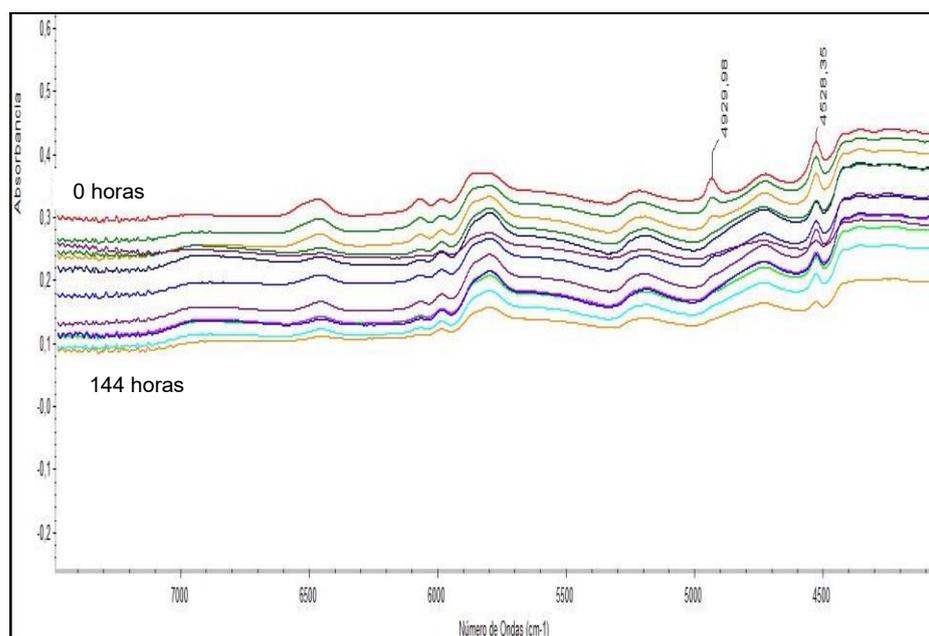


FIGURA 4.236 GE-60 30B TEPA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

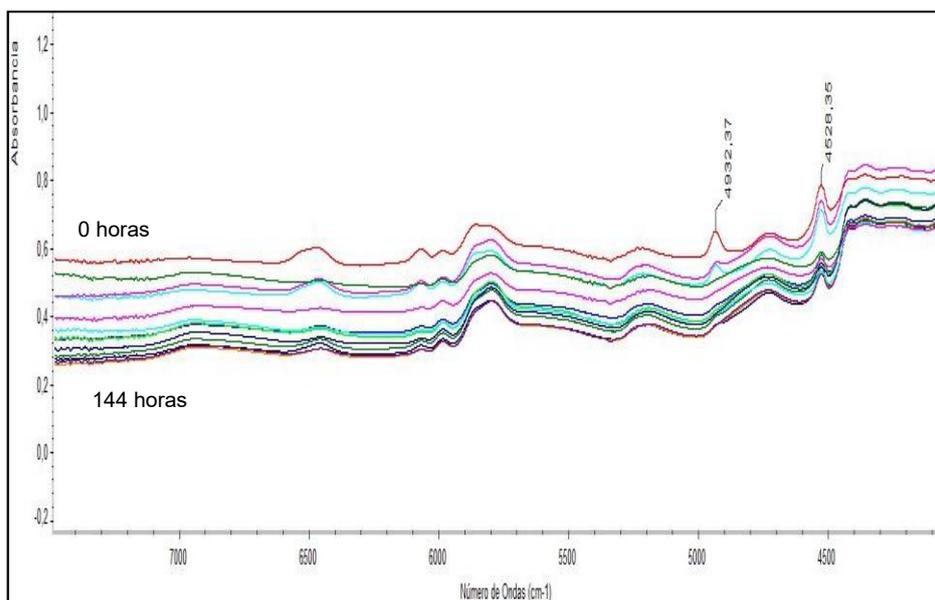


FIGURA 4.237 GE-60 30B-CA TEPA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

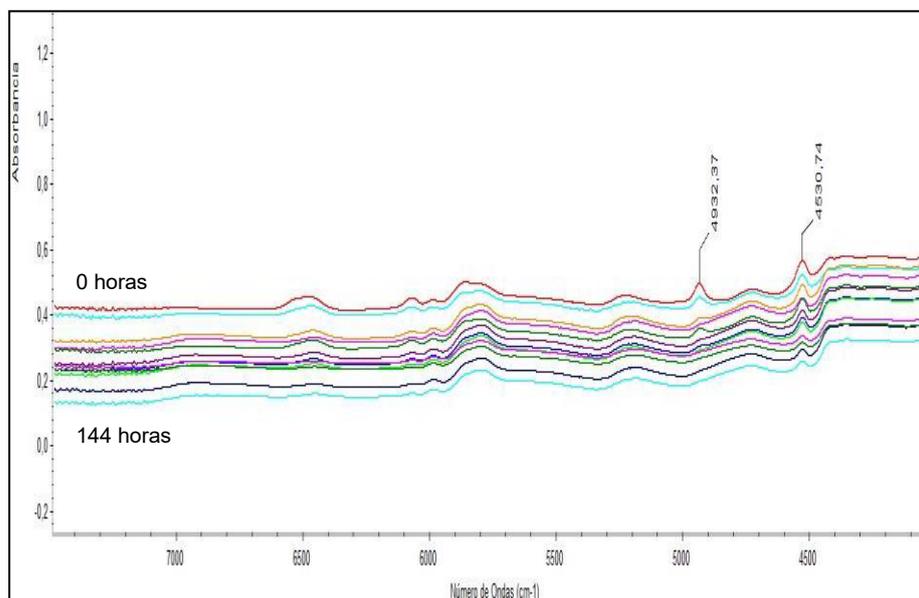


FIGURA 4.238 GE-60 93A TEPA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

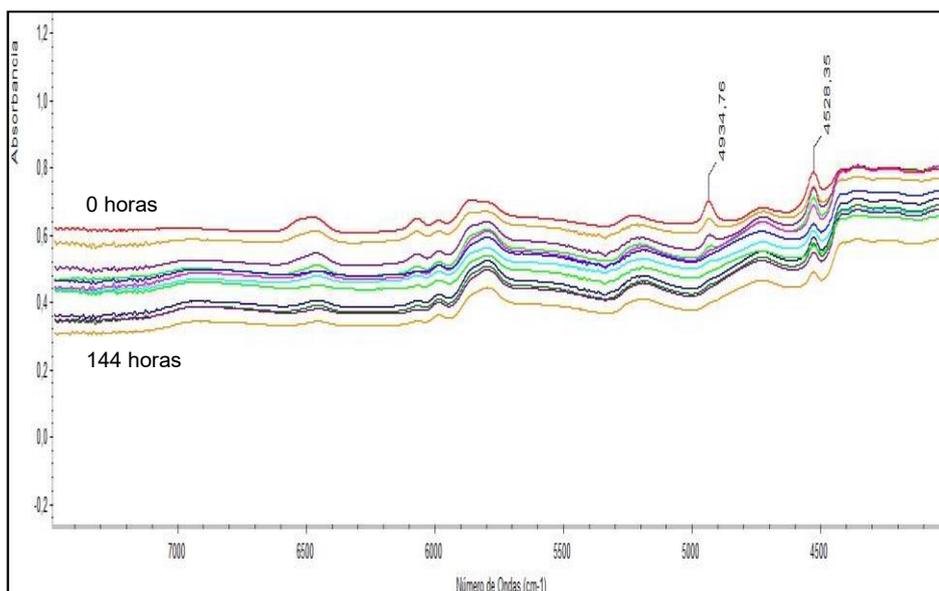


FIGURA 4.239 GE-60 93A-CA TEPA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

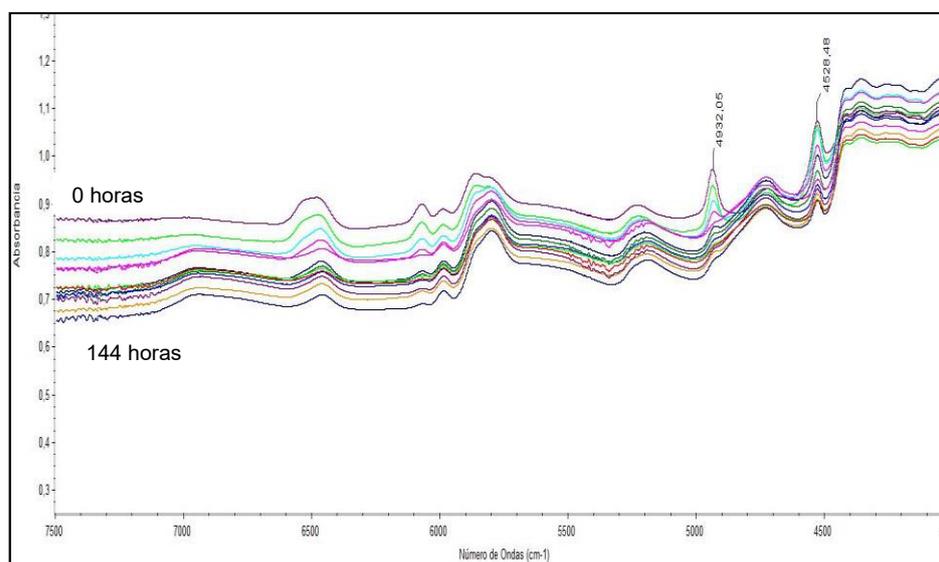


FIGURA 4.240 GE-60 30B TETA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

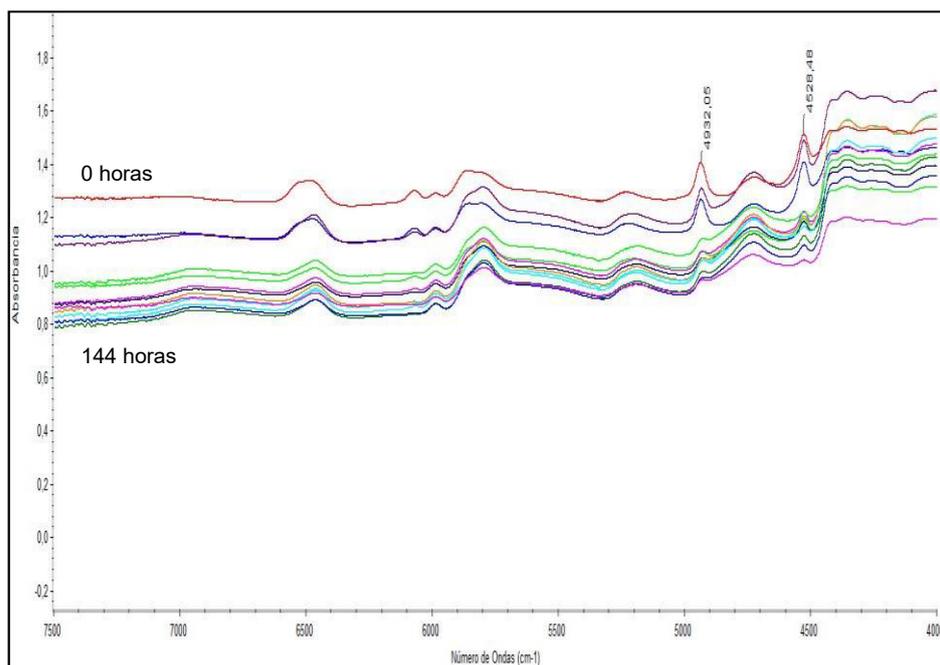


FIGURA 4.241 GE-60 30B-CA TETA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

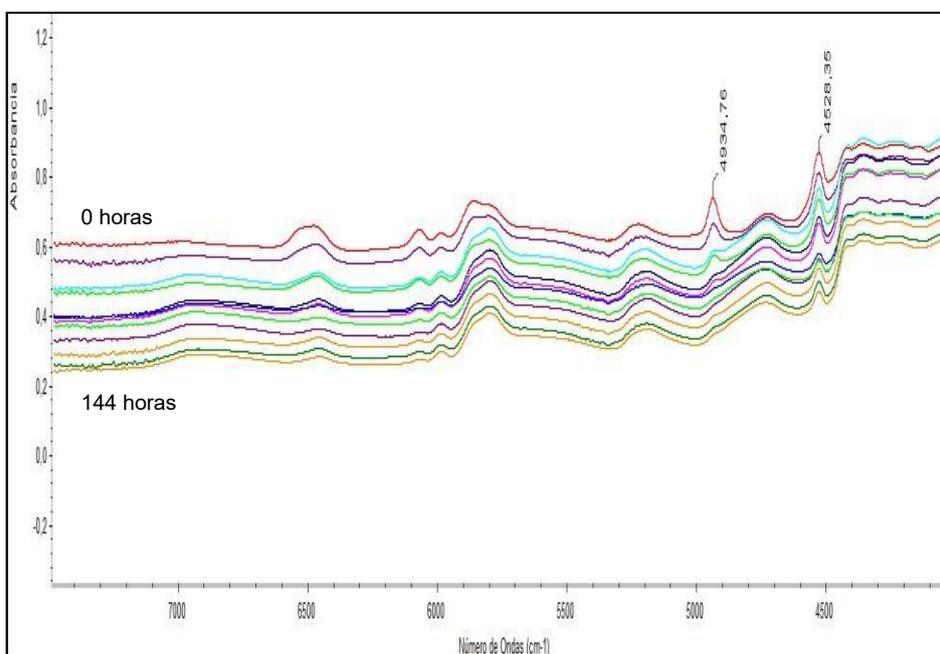


FIGURA 4.242 GE-60 93A TETA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

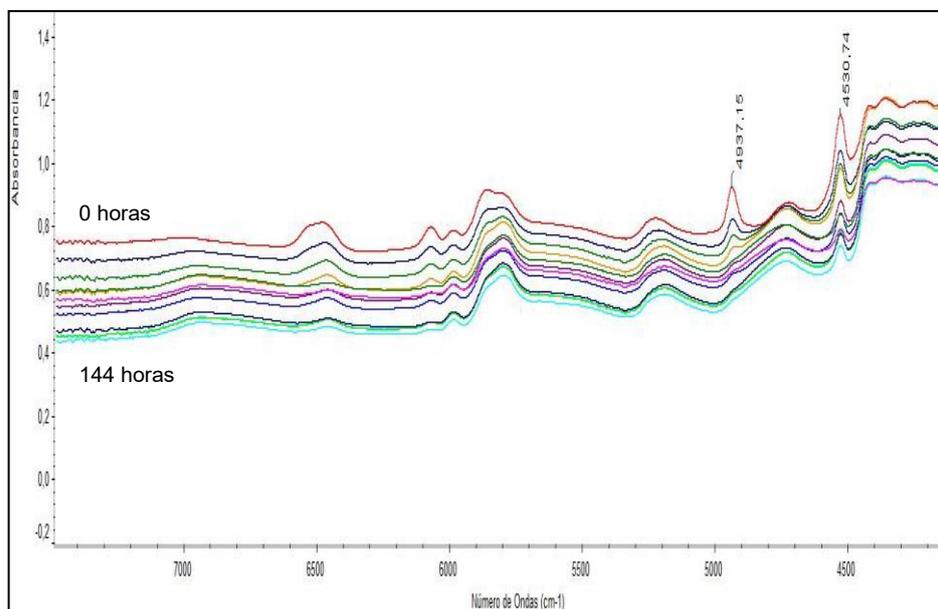


FIGURA 4.243 GE-60 93A-CA TETA Y TIEMPO DE CURADO: 0, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5, 24, 48, 72, 96, 120, 144 HORAS

Se utilizó métodos analíticos para hallar las concentraciones de amina debido a epoxi/alifático que fueron mejorados para conocer también concentraciones epoxi/amino, métodos tales como los de Lohman y Norteman [20] en donde se determina el pico de absorbancia de la amina primaria y secundaria usando Near-IR en varias aminas alifáticas, Los métodos descritos por Senén-Paz A [21] y Lisheng Xu [22] permiten que los cálculos de la concentración de amina secundaria y terciaria. La conversión de epoxi y amina

primaria, las absorbancias máximas se determinaron por Near-IR usando el área de los picos a aproximadamente 4528 y 4939 cm^{-1} . Se utilizó un método de balance de masas para determinar las reacciones de epoxi-amina de la siguiente manera:

$$[A_p]_0 = [A_p] + [A_s] + [A_t]$$

$$[\text{OH}] = [A_s] + 2[A_t]$$

$$[\text{OH}] = [E]_0 - [E]$$

Donde $[A_p]_0$ y $[E]_0$ son las concentraciones iniciales de amina y epoxi primaria. $[A_p]$ es la amina primaria, $[A_s]$ es la amina secundaria, $[A_t]$ es la amina terciaria, $[E]$ es el epóxico durante la reacción.

Haciendo un análisis de la Ley de Beer Lambert se puede obtener la siguiente ecuación:

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \varepsilon * c * l$$

Siendo A el área del pico ε es la absortividad molar (kg/mol cm), l es la longitud de la trayectoria fija de la radiación igual a 0,079395 cm. (0,032 pulgadas), y c es la concentración (mol/kg).

Combinando ecuaciones se puede tener las siguientes relaciones para obtener los valores de la amina secundaria y la amina terciaria.

$$[As]=2([Ap]_0-[Ap])-([E]_0-[E])$$

$$[At]=[Ap]_0-[Ap]-[As]$$

La conversión de la amina primaria se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha_{Ap}=[Ap]/[Ap]_0$$

La amina secundaria se obtiene de la ecuación siguiente:

$$\alpha_{As} = [Ap]_0-[Ap]-[At] / [A]_0$$

Asumiendo que la amina solo reaccione con el epóxico se tiene:

$$\alpha_{Ep} = \alpha_{Am} = (\alpha_{Ap} + \alpha_{As}) / 2$$

Se puede observar desde la figura 4.217 hasta 4.240 las diferentes etapas de curado, a continuación se presentan las configuraciones a las cuales se les analizó sus concentraciones y conversión con las amina EDR-148, EDR-176, D-230 y T-403 mientras que con las aminas TEPA y TETA no se pudo utilizar el método analítico debido a que su tiempo de curado era demasiado rápido; debido a su composición química la cual conlleva a que se produzcan reacciones químicas rápidas y la disminución casi instantánea del pico de la amina.

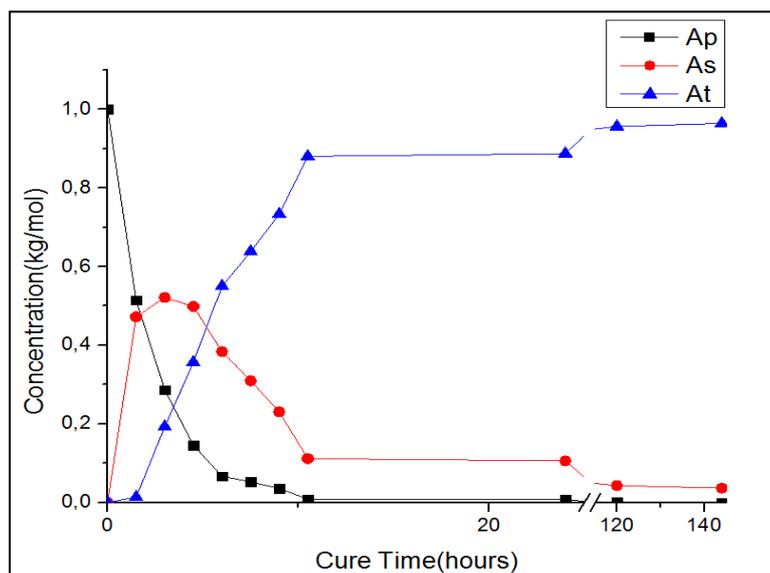
En la figura 4.244 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 EDR-148. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 10 horas mientras que la conversión del epóxico se da a las 47 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 3 horas mientras que para la amina terciaria se da a las 144 horas.

En la figura 4.245 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C30B EDR-148. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 11 horas mientras que el 94% de conversión del epóxico se da a las 48 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 4.5 horas mientras que para la amina terciaria se da a las 120 horas.

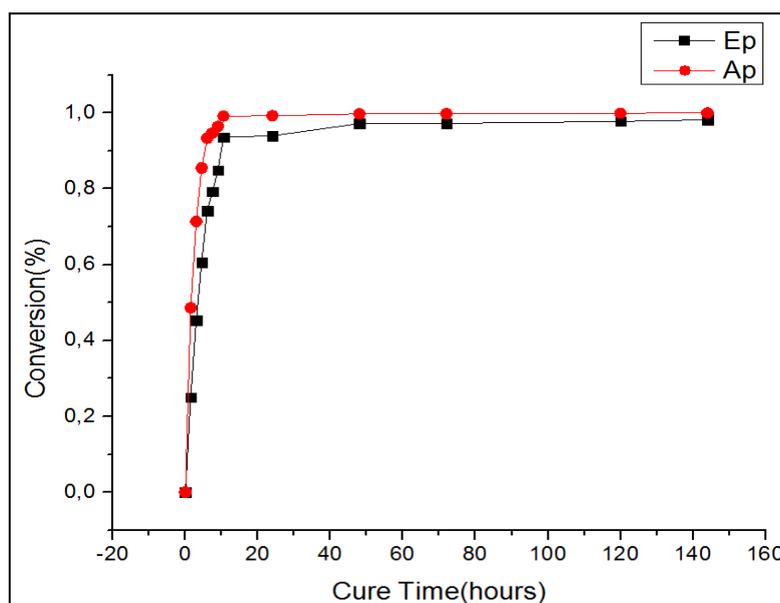
En la figura 4.246 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C30B-CA EDR-148. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 10 horas mientras que el 94% de conversión del epóxico se da a las 47.5 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 3 horas mientras que para la amina terciaria se da a las 120 horas.

En la figura 4.247 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C93A EDR-148. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 23 horas mientras que el 97% de conversión del epóxico se da a las 72 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 4.5 horas mientras que para la amina terciaria se da a las 120 horas.

En la figura 4.248 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C93A-CA EDR-148. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 24 horas mientras que el 97% de conversión del epóxico se da a las 24 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 4.5 horas mientras que para la amina terciaria se da a las 24 horas.

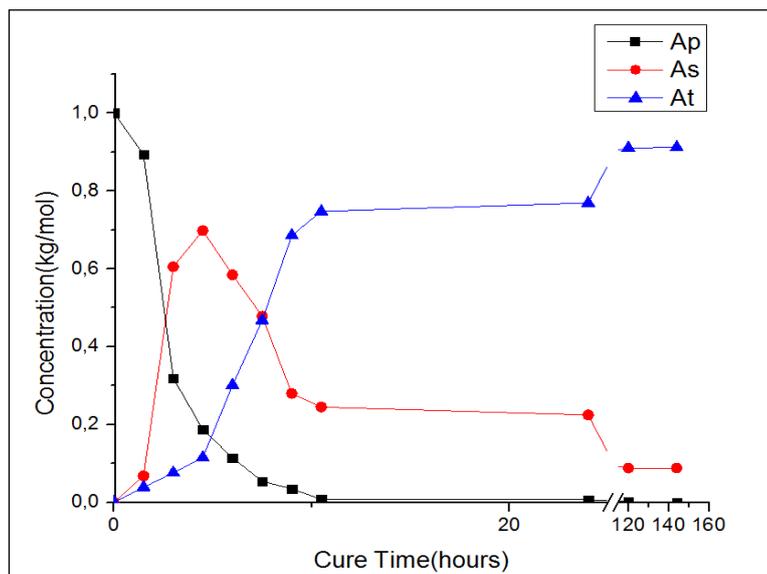


(a)

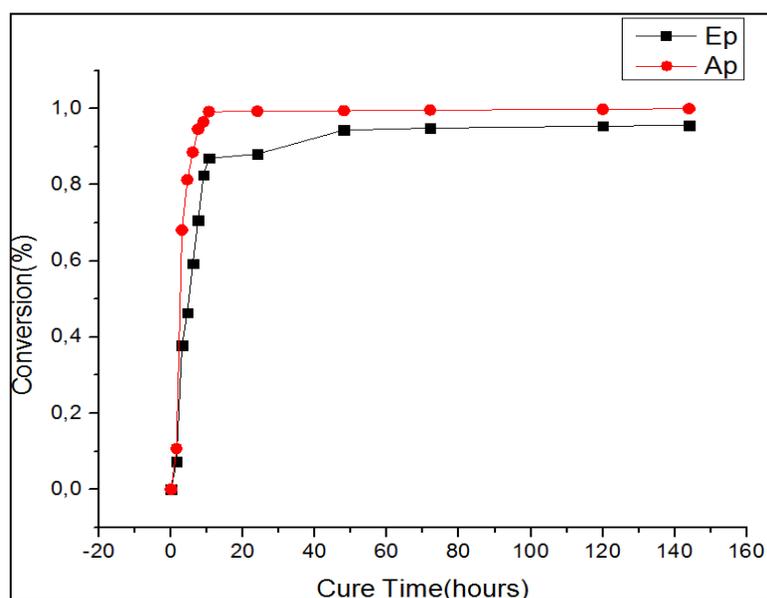


(b)

FIGURA 4.244 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 EDR-148

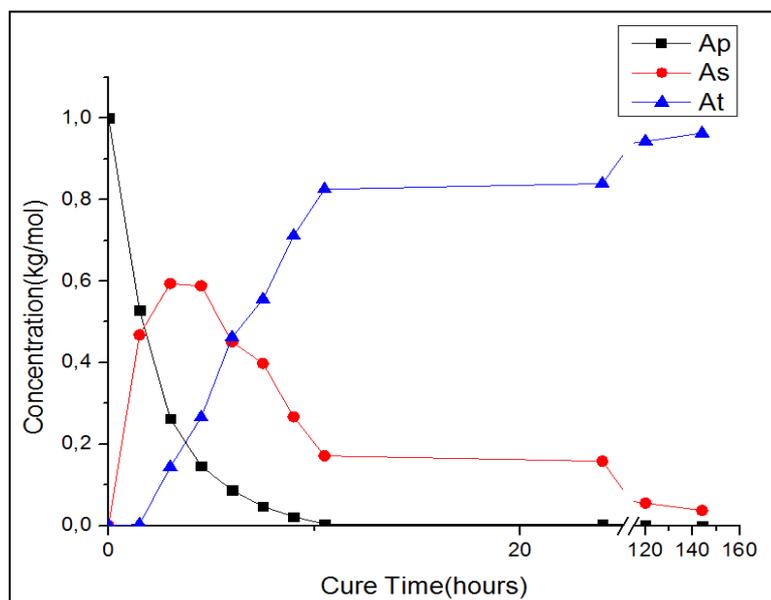


(a)

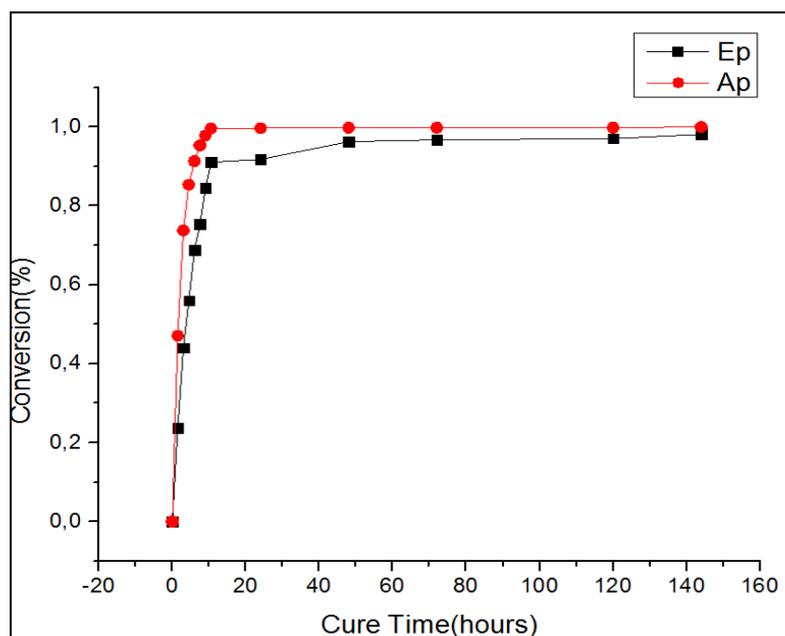


(b)

FIGURA 4.245 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 30B EDR-148

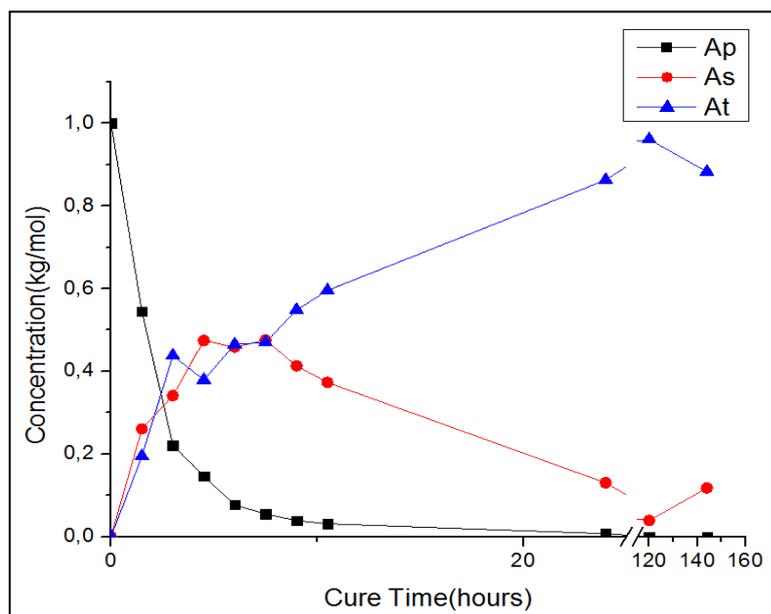


(a)

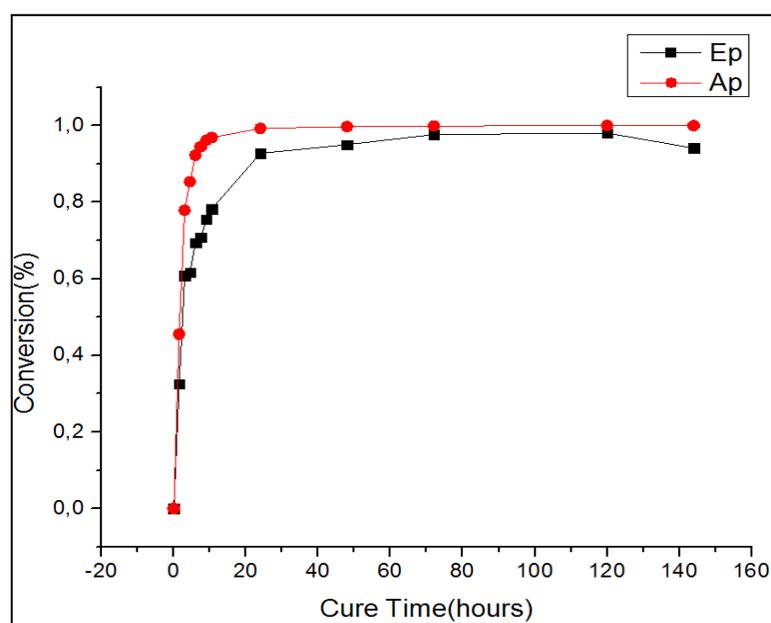


(b)

FIGURA 4.246 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 30B-CA EDR-148

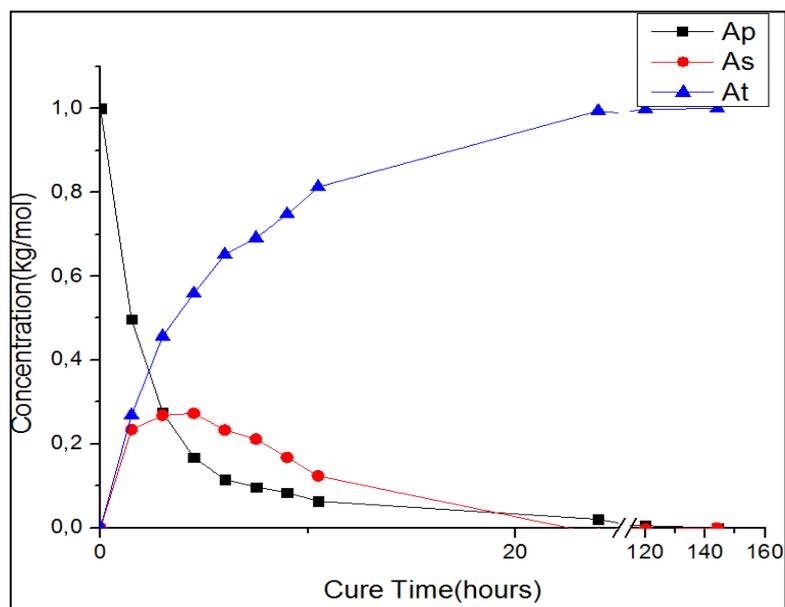


(a)

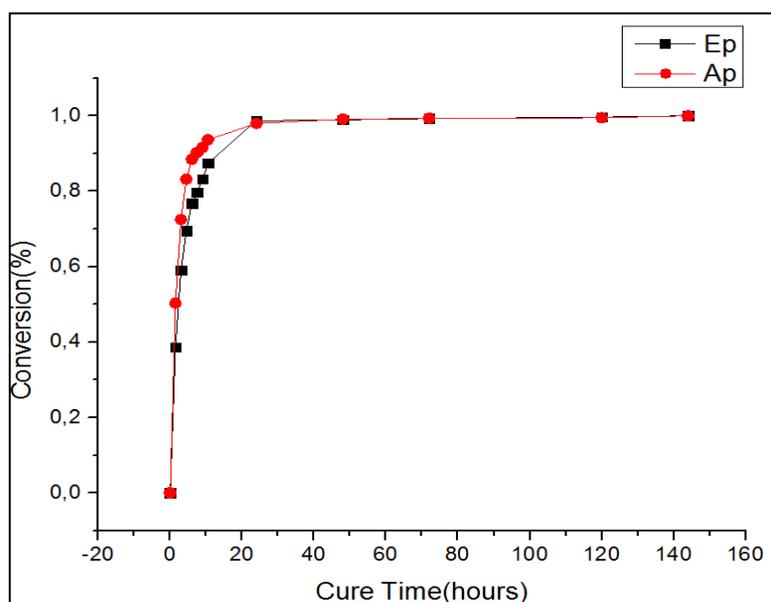


(b)

FIGURA 4.247 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 93A EDR-148



(a)



(b)

FIGURA 4.248 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 93A-CA EDR-148

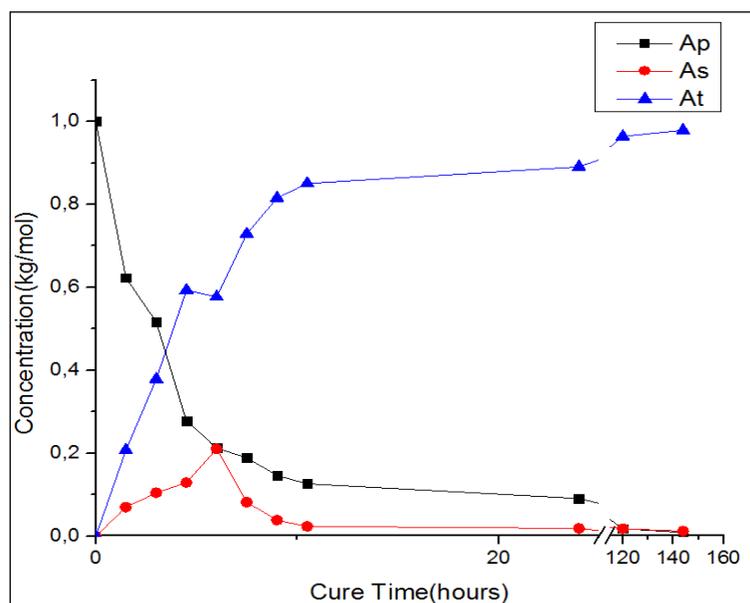
En la figura 4.249 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 EDR-176. La mayor parte de la conversión del 88% de amina primaria se da a las 10.5 horas mientras que la conversión del 87% del epóxico se da a las 11 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 6 horas mientras que para la amina terciaria el 90% se da a las 24 horas.

En la figura 4.250 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C30B EDR-176. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 10 horas mientras que el 90% de conversión del epóxico se da a las 10.5 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 1.5 horas mientras que para la amina terciaria el 90% se da a las 24 horas llegando a su máxima concentración luego de las 120 horas.

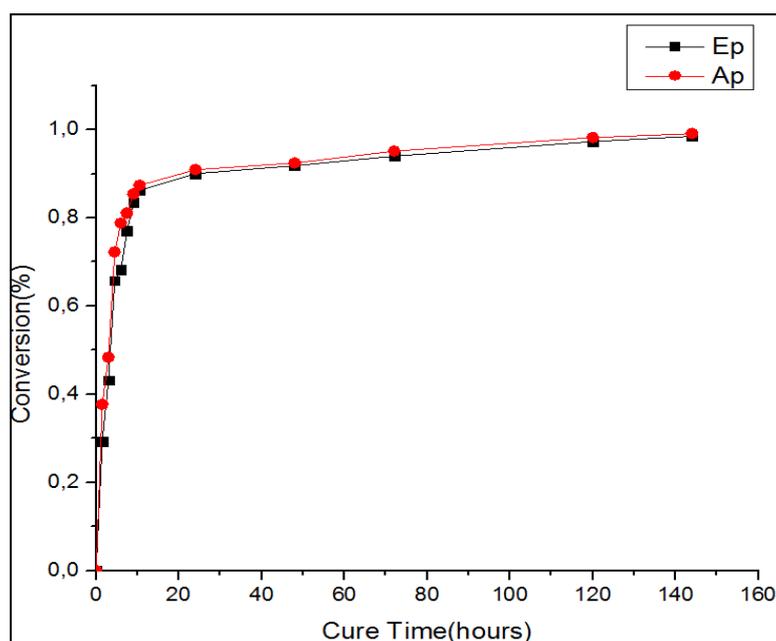
En la figura 4.251 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C30B-CA EDR-176. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 7.5 horas mientras que el 94% de conversión del epóxico se da a las 10.5 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 4.5 horas mientras que para la amina terciaria se da a las 120 horas.

En la figura 4.252 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C93A EDR-176. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 11 horas mientras que el 83% de conversión del epóxico se da a las 10.5 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 3 horas mientras que para la amina terciaria el 88% de concentración se da a las 24 horas llegando a su máximo a las 120 horas.

En la figura 4.253 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C93A-CA EDR-176. El 97% de la conversión de amina primaria se da a las 6 horas mientras que el 84% de conversión del epóxico se da a las 10.5 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 3 horas y para la amina terciaria el 90% de la concentración se da a las 24 horas.

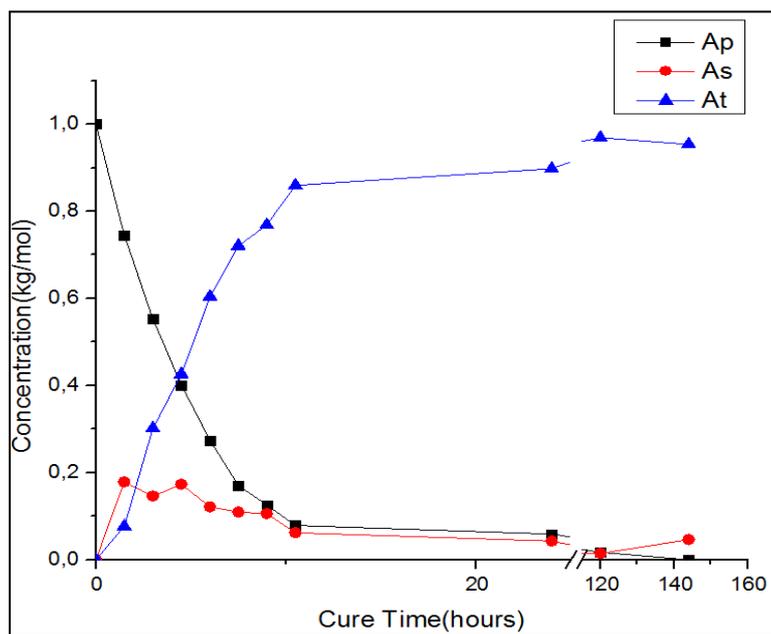


(a)

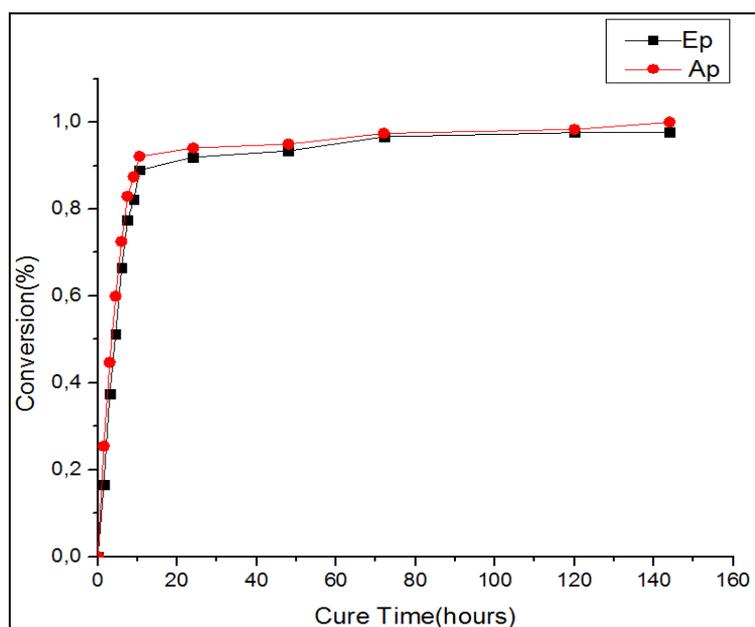


(b)

FIGURA 4.249 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 EDR-176

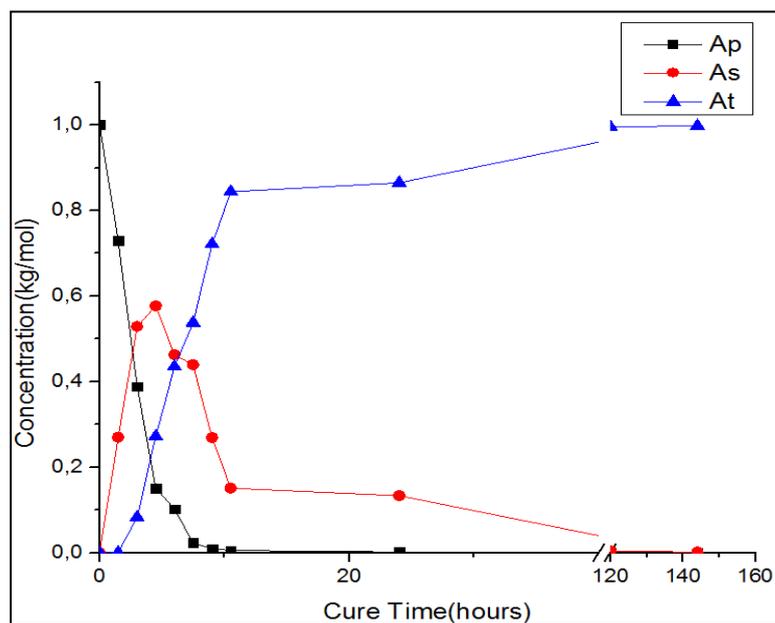


(a)

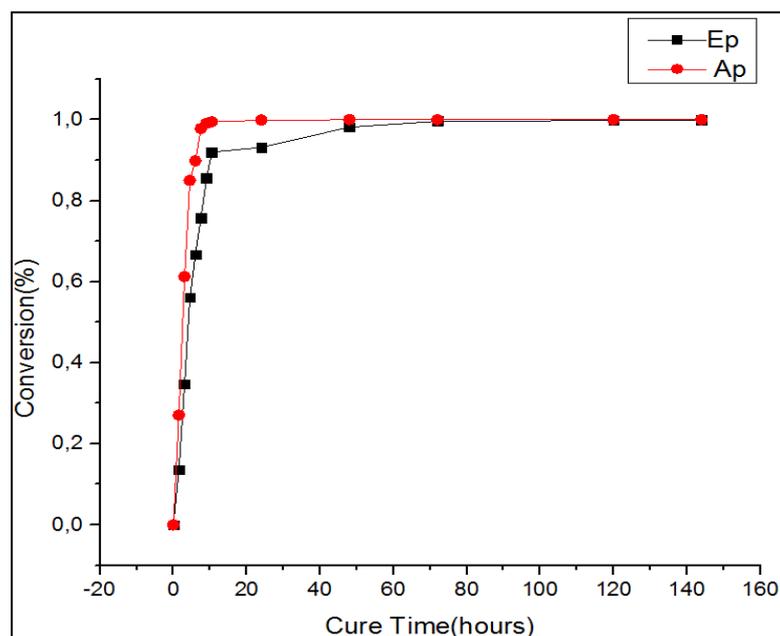


(b)

FIGURA 4.250 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 30B EDR-176

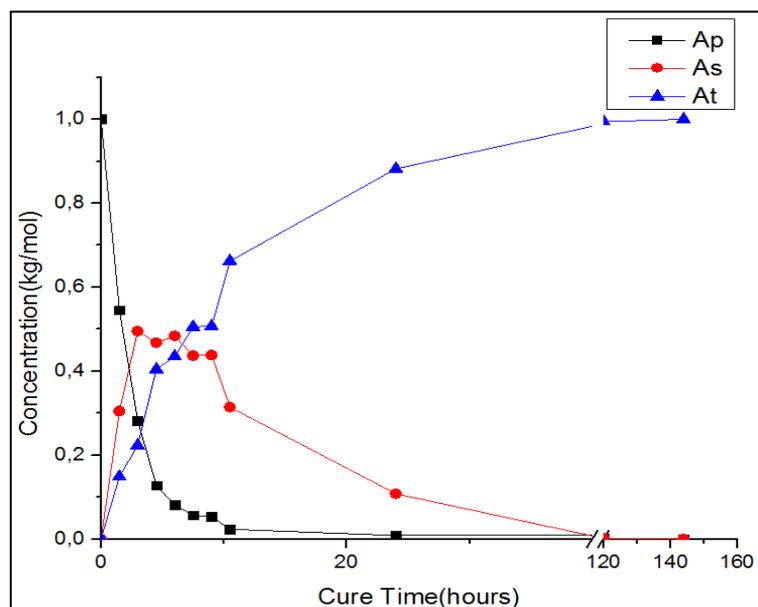


(a)

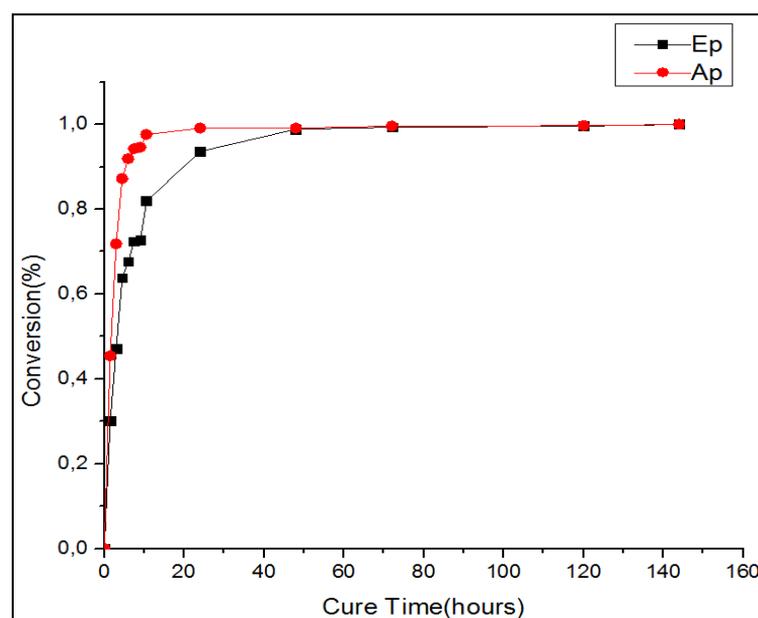


(b)

FIGURA 4.251 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 30B-CA EDR-176

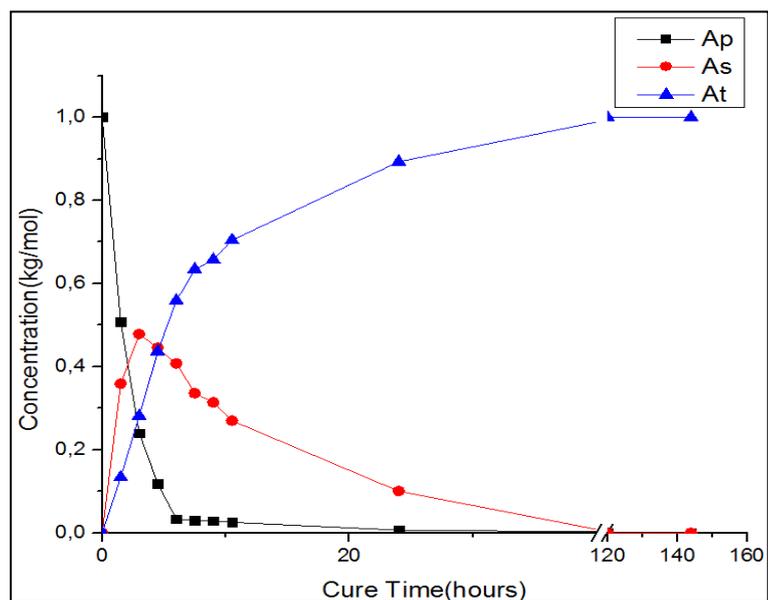


(a)

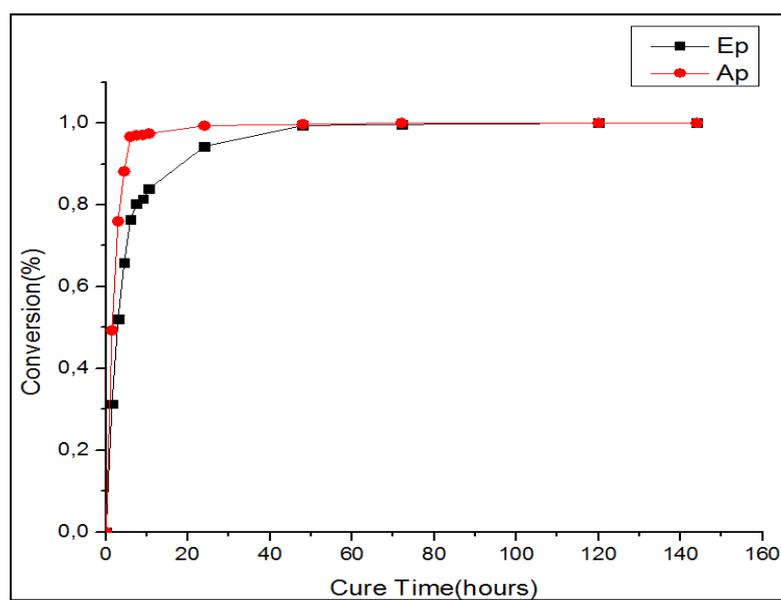


(b)

FIGURA 4.252 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 93A EDR-176



(a)



(b)

FIGURA 4.253 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 93A-CA EDR-176

En la figura 4.254 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 D-230. La mayor parte de la conversión del 99% de amina primaria se da a las 72 horas mientras que la conversión del 93% del epóxico se da a las 71.5 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 9 horas mientras que para la amina terciaria el 90% se da a las 122 horas.

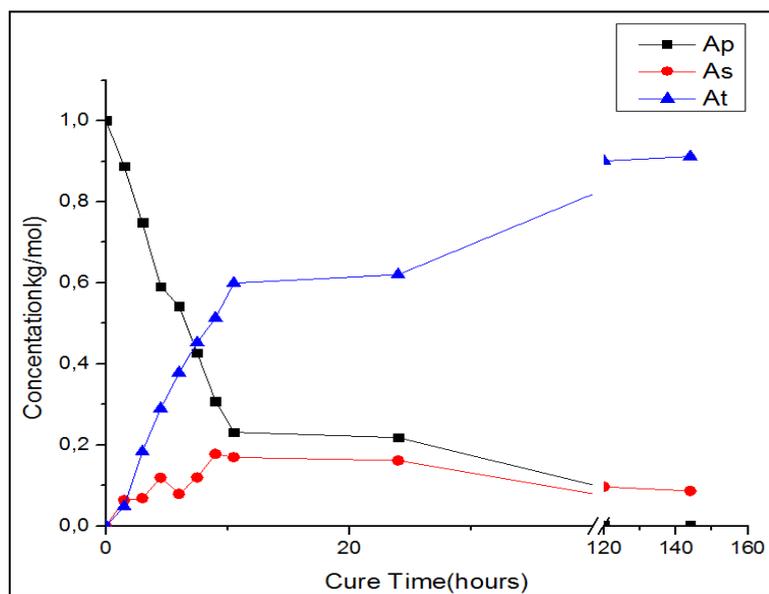
En la figura 4.255 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C30B D-230. El 74% de la conversión de amina primaria se da a las 10.5 horas llegando a su máxima conversión a las 72 horas mientras que el 62% de conversión del epóxico se da a las 10.5 horas llegando a su máxima conversión a las 120 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 7.5 horas mientras que para la amina terciaria el 80% se da a las 80 horas llegando a su máxima concentración luego de las 120 horas.

En la figura 4.256 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C30B-CA D-230. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 10.5 horas mientras que el 75% de conversión del epóxico se da a las 10 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 9 horas mientras que para la

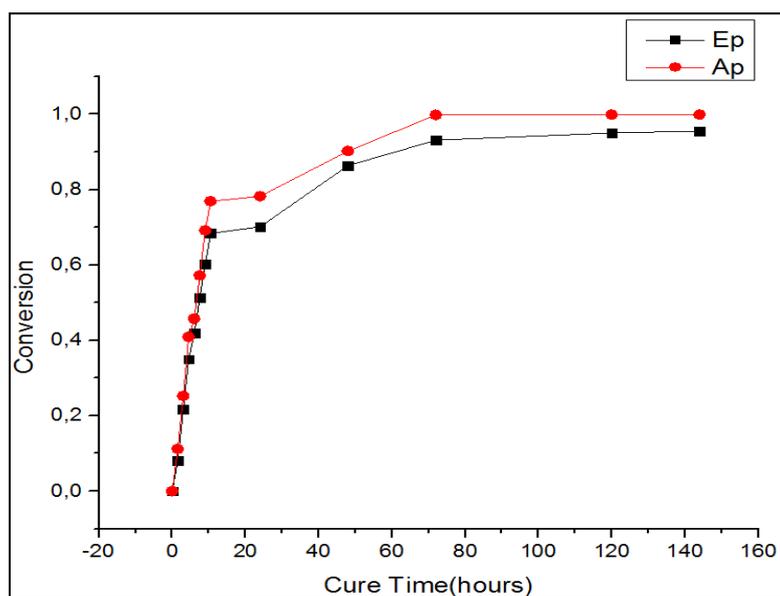
amina terciaria el 85% de concentración se da a las 120 horas llegando a su máximo a las 144 horas.

En la figura 4.257 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C93A D-230. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 48 horas mientras que el 90% de conversión del epóxico se da a las 48 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 9 horas mientras que para la amina terciaria el 89% se da a las 120 horas.

En la figura 4.258 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C93A-CA D-230. El 99% de la conversión de amina primaria se da a las 24 horas mientras que el 85% de conversión del epóxico se da a las 24 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 9 horas y para la amina terciaria el 89% de la concentración se da a las 120 horas.

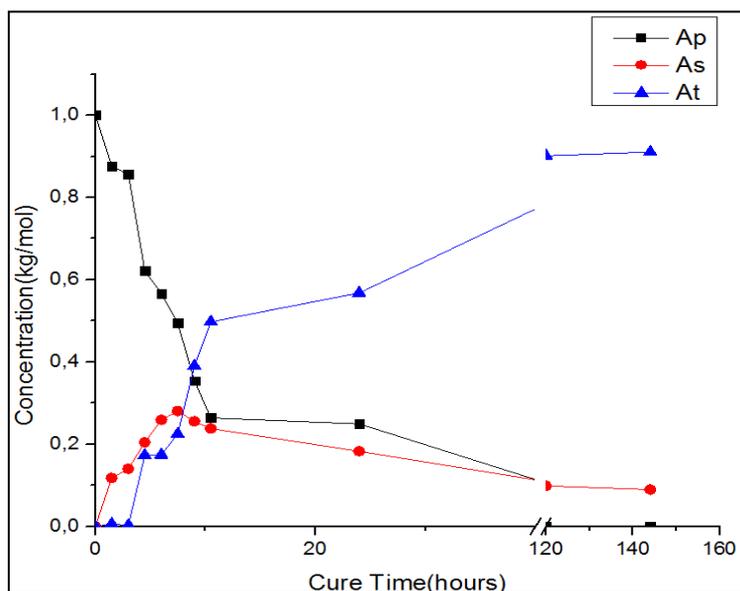


(a)

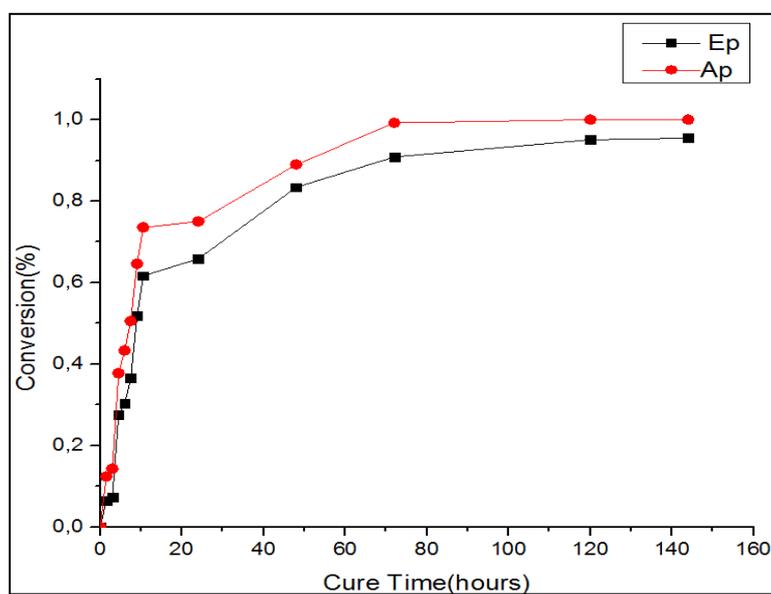


(b)

FIGURA 4.254 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 D-230

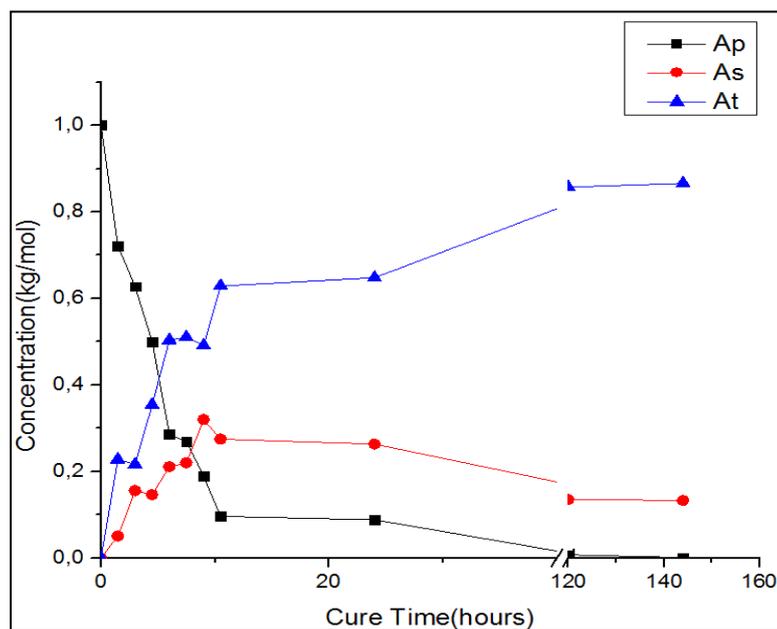


(a)

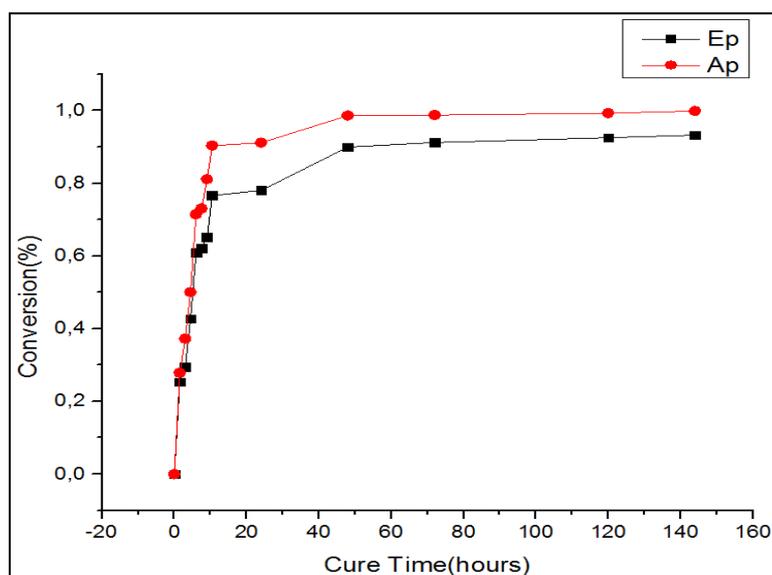


(b)

FIGURA 4.255 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 30B D-230

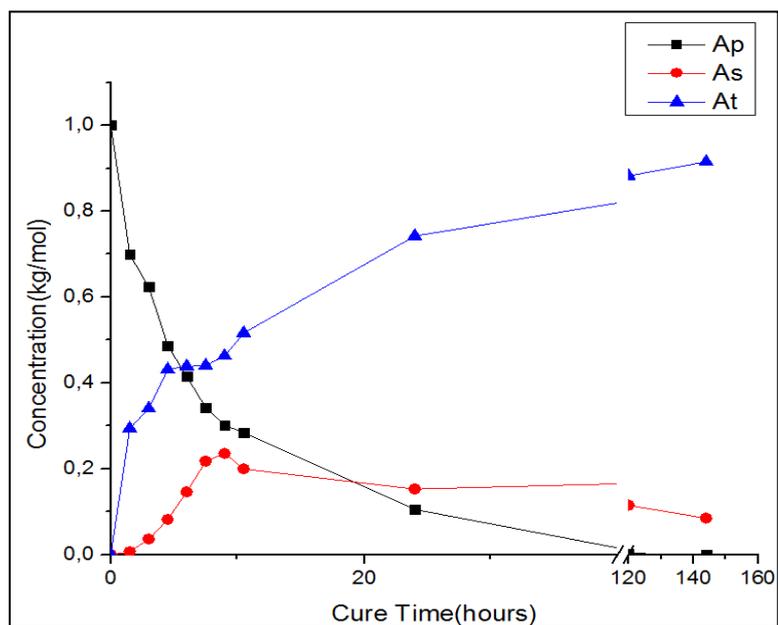


(a)

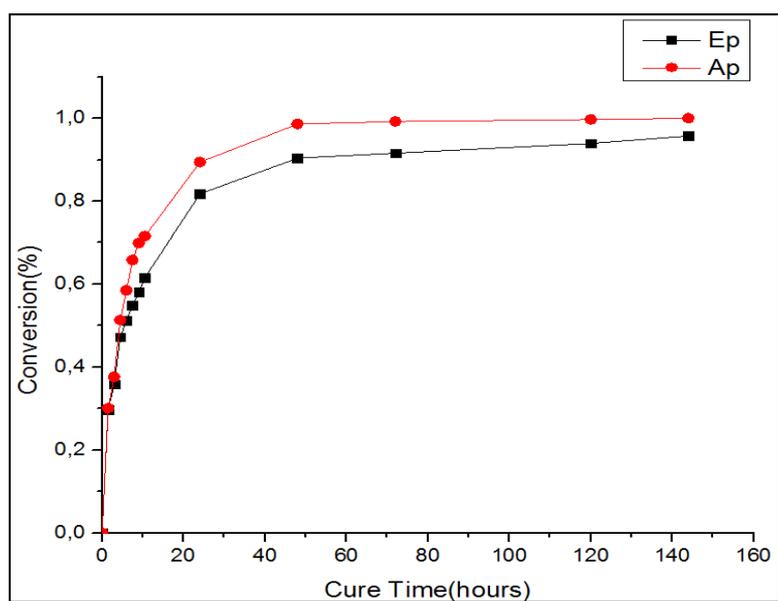


(b)

FIGURA 4.256 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 30B-CA D-230

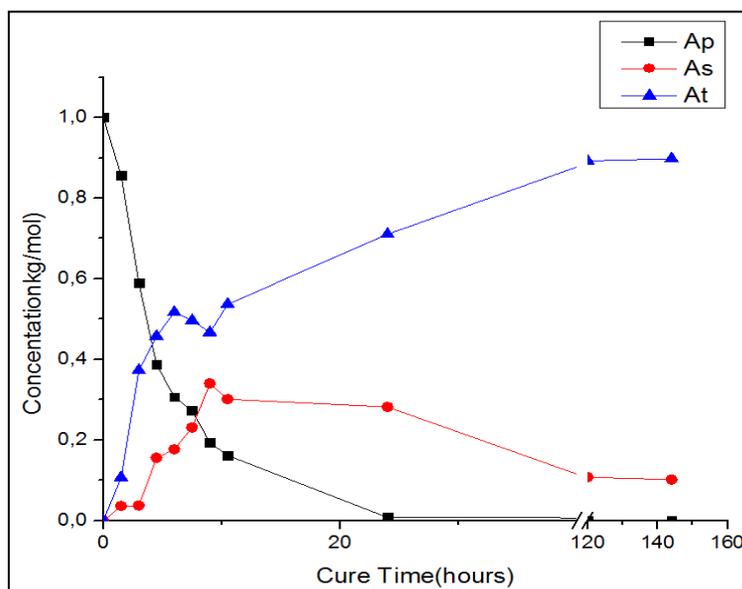


(a)

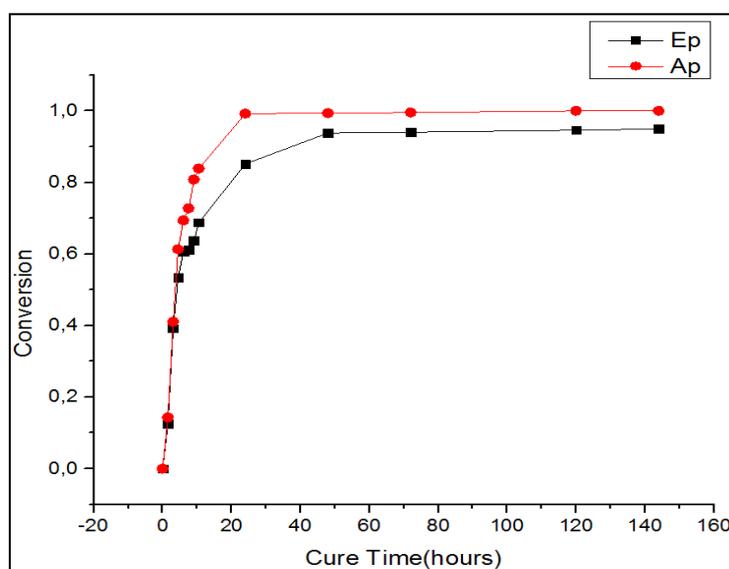


(b)

FIGURA 4.257 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 93A D-230



(a)



(b)

FIGURA 4.258 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 93A-CA D-230

En la figura 4.259 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 T-403. La mayor parte de la conversión del 99% de amina primaria se da a las 7 horas mientras que la conversión del 85% del epóxico se da a las 80 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 8 horas mientras que para la amina terciaria el 80% se da a las 120 horas.

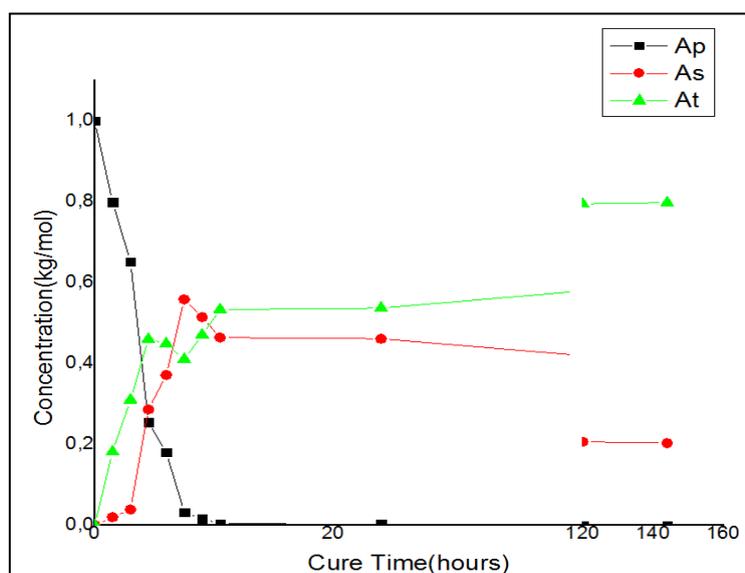
En la figura 4.260 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C30B T-403. El 80% de la conversión de amina primaria se da a las 24 horas llegando a su máxima conversión a las 120 horas mientras que el 78% de conversión del epóxico se da a las 24 horas llegando a su máxima conversión a las 120 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 7 horas mientras que para la amina terciaria el 65% se da a las 80 horas llegando a su máxima concentración luego de las 120 horas.

En la figura 4.261 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C30B-CA T-403. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 10.5 horas mientras que el 75% de conversión del epóxico se da a las 10 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 9 horas mientras que para la

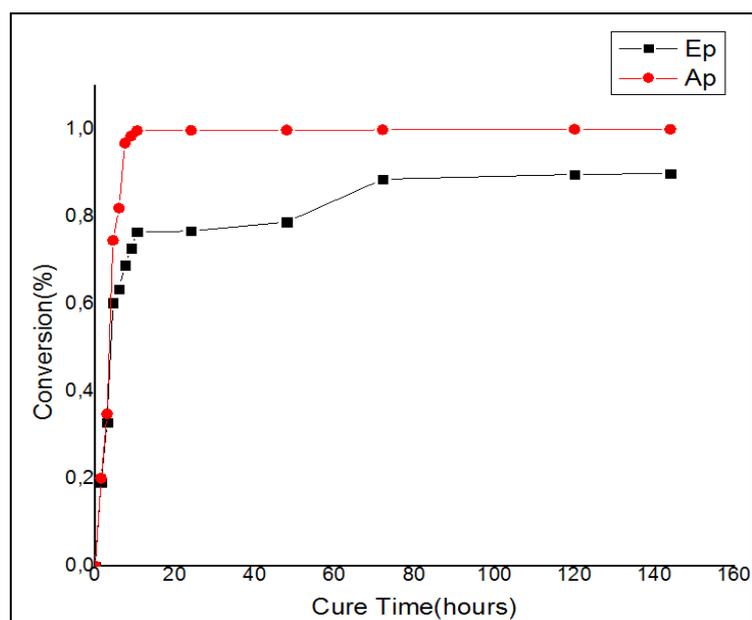
amina terciaria el 85% de concentración se da a las 120 horas llegando a su máximo a las 144 horas.

En la figura 4.262 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C93A T-403. La mayor parte de la conversión de amina primaria se da a las 48 horas mientras que el 95% de conversión del epóxico se da a las 48 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 10 horas mientras que para la amina terciaria el 85% se da a las 120 horas.

En la figura 4.263 muestra la concentración y la conversión del grupo amina en función del tiempo de curado de la mezcla GE-60 C93A-CA T-403. El 95% de la conversión de amina primaria se da a las 24 horas mientras que el 80% de conversión del epóxico se da a las 24 horas, por otro lado la concentración máxima de amina secundaria se da a las 6 horas y para la amina terciaria el 90% de la concentración se da a las 120 horas.

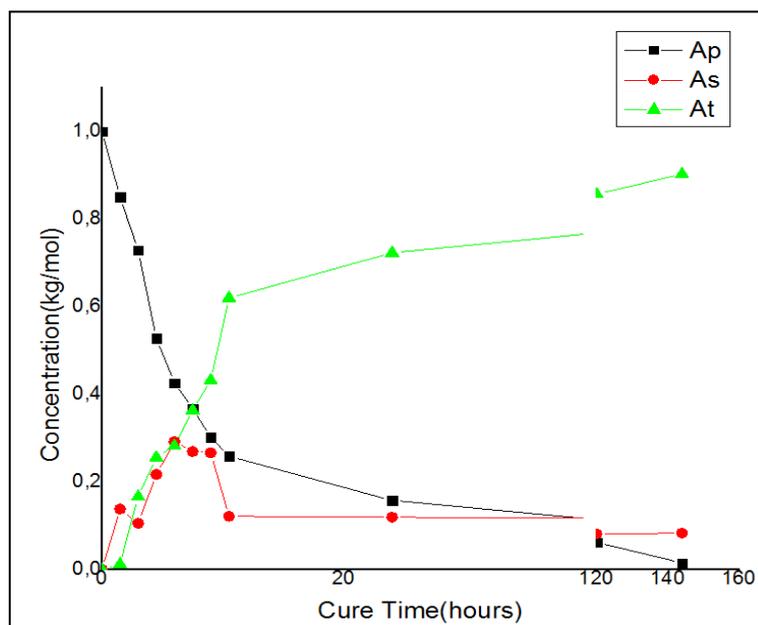


(a)

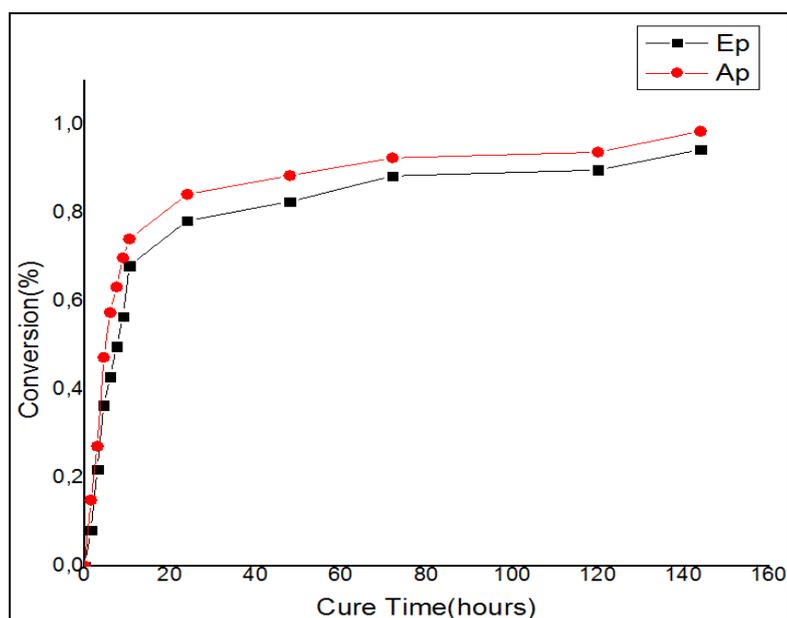


(b)

FIGURA 4.259 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 T-403

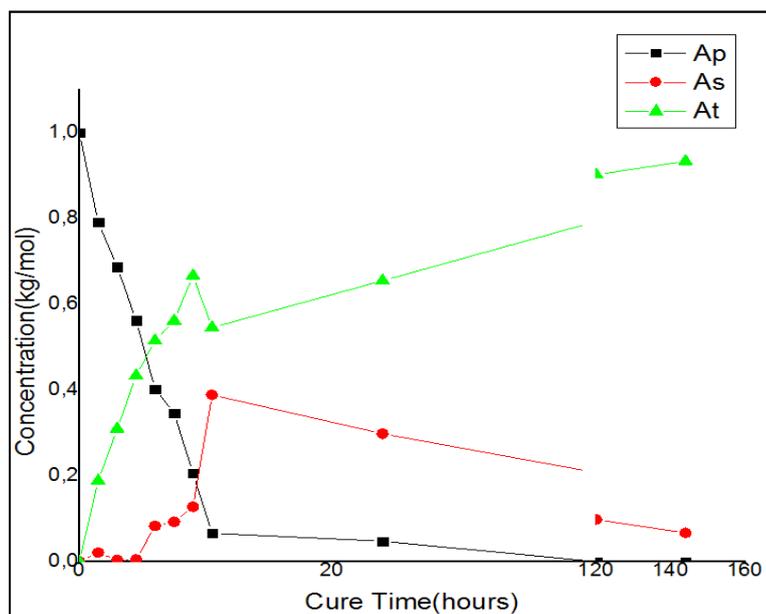


(a)

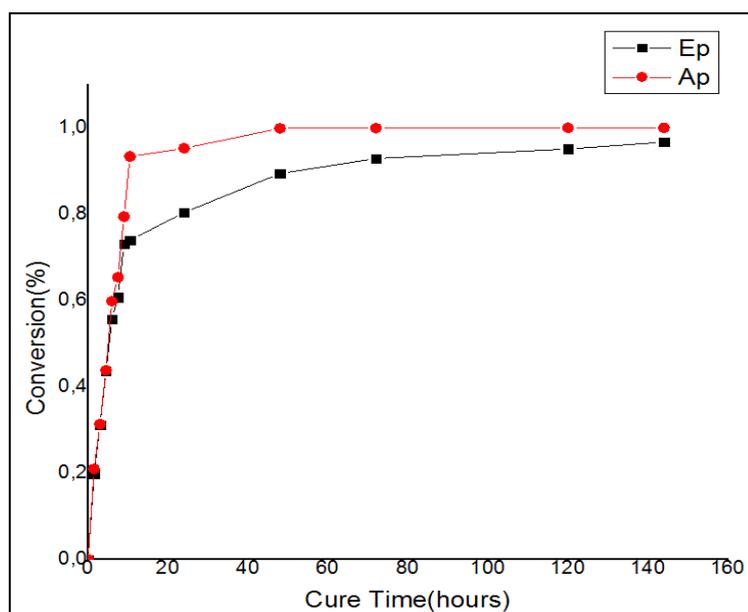


(b)

FIGURA 4.260 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 30B T-403

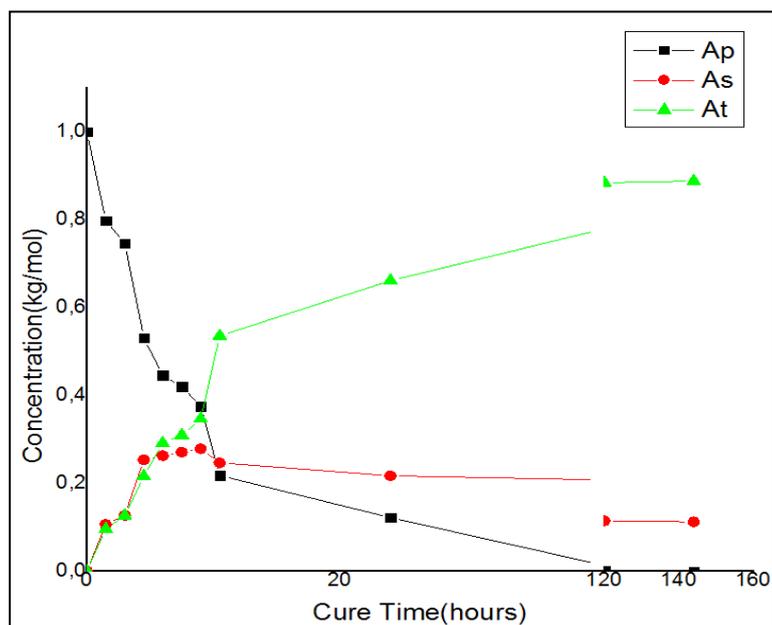


(a)

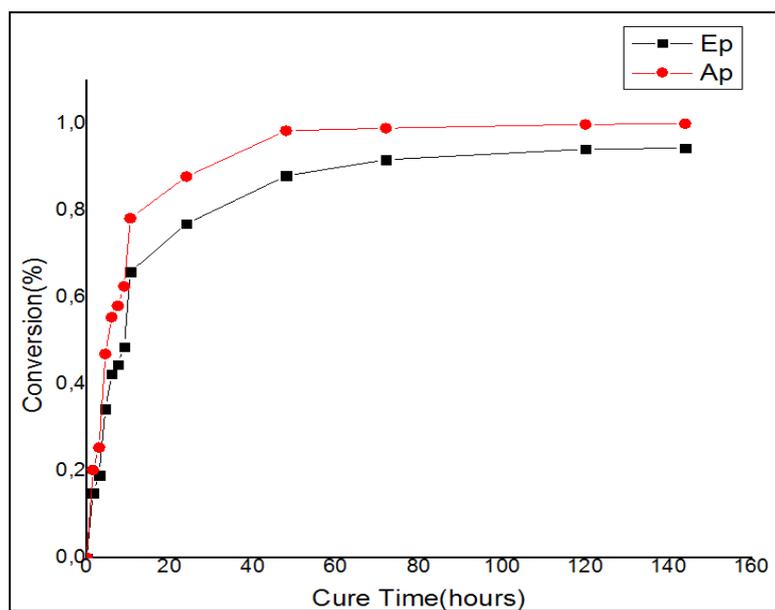


(b)

FIGURA 4.261 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 30B-CA T-403

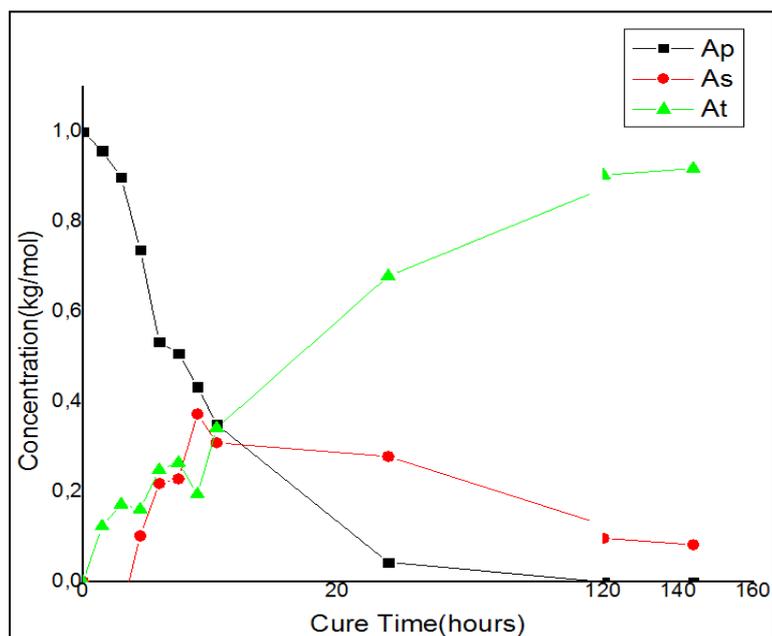


(a)

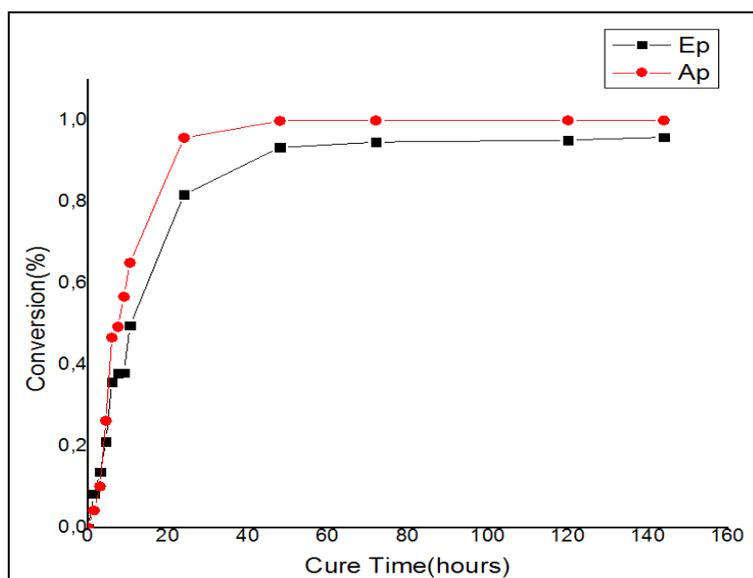


(b)

FIGURA 4.262 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 93A T-403



(a)



(b)

FIGURA 4.263 (a) CONCENTRACIÓN DE AMINA Y (b) CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 93A-CA T-403

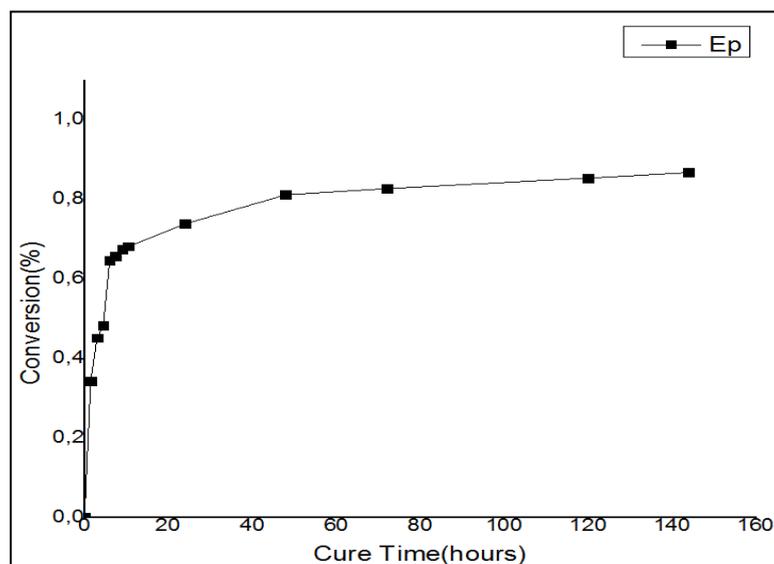


FIGURA 4.264 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 TETA

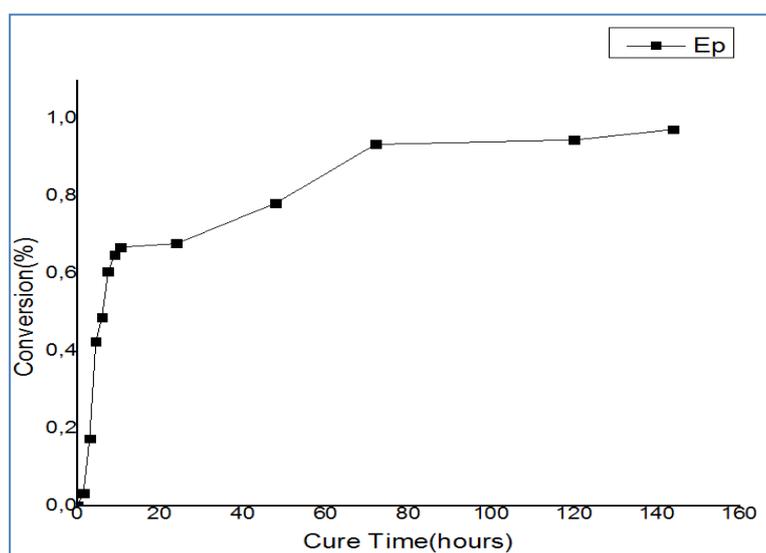


FIGURA 4.265 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 C30B TETA

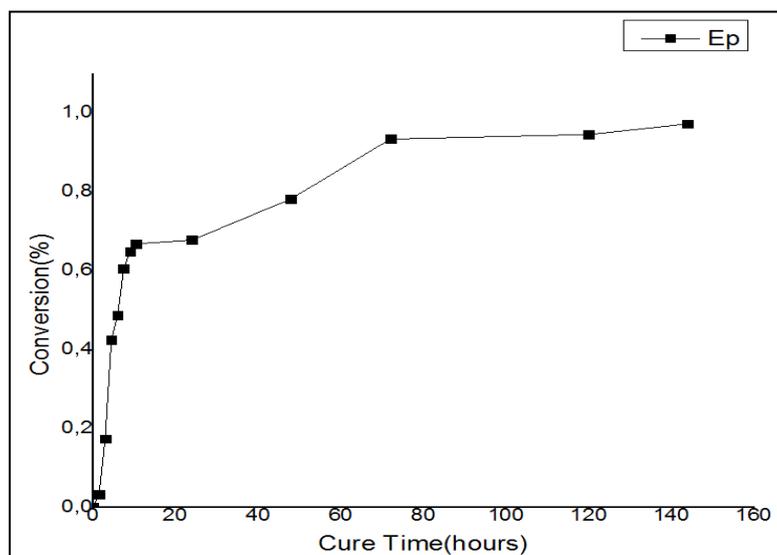


FIGURA 4.266 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 C30B-CA TETA

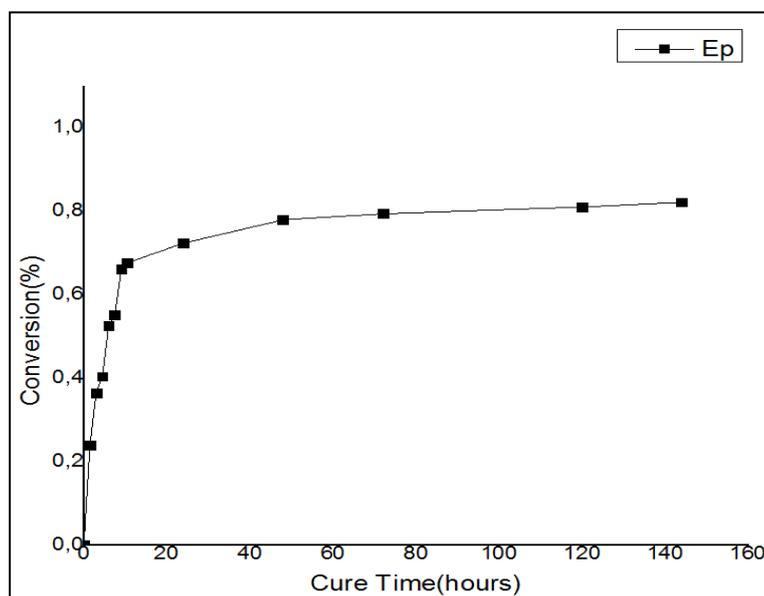


FIGURA 4.267 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 C93A TETA

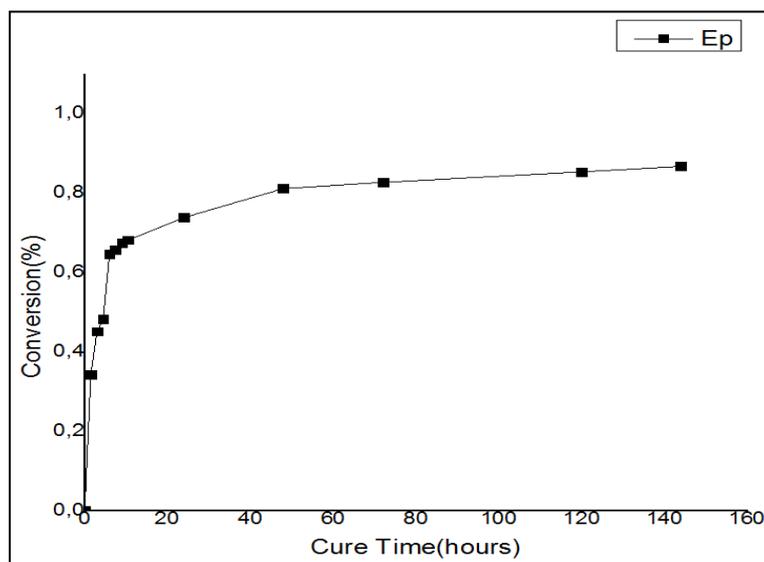


FIGURA 4.268 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 C93A-CA TETA

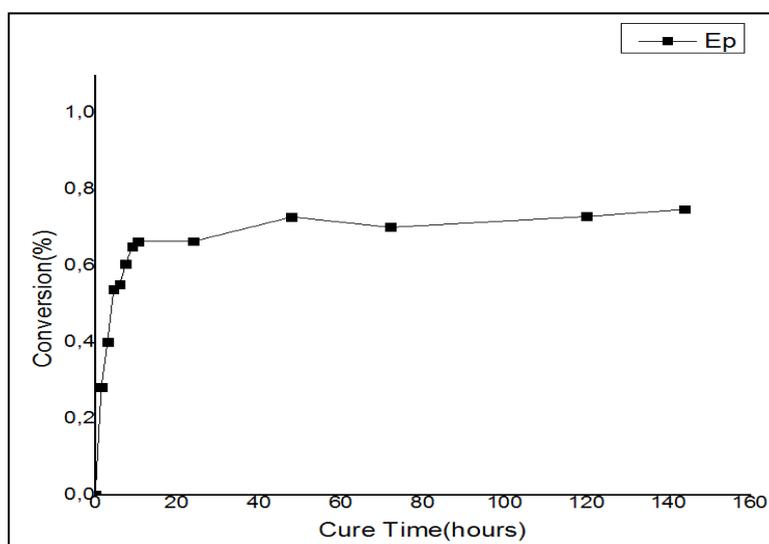


FIGURA 4.269 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 TEPA

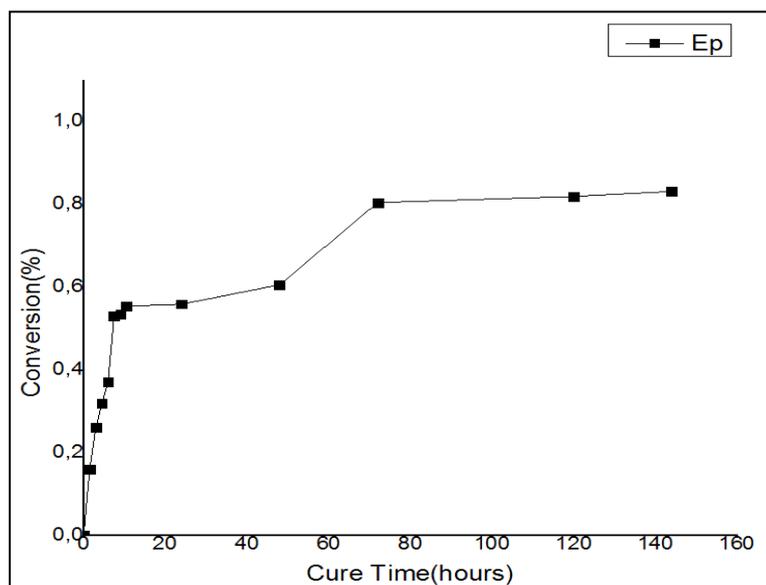


FIGURA 4.270 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 C30B TEPA

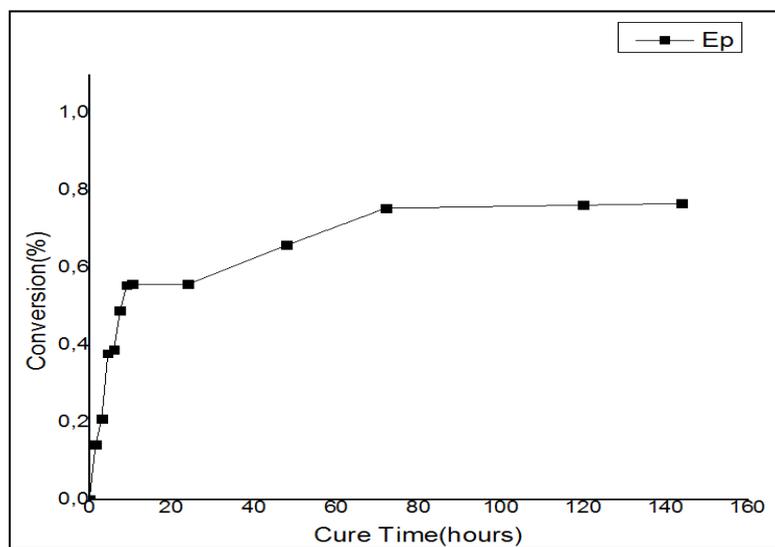


FIGURA 4.271 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 C30B-CA TEPA

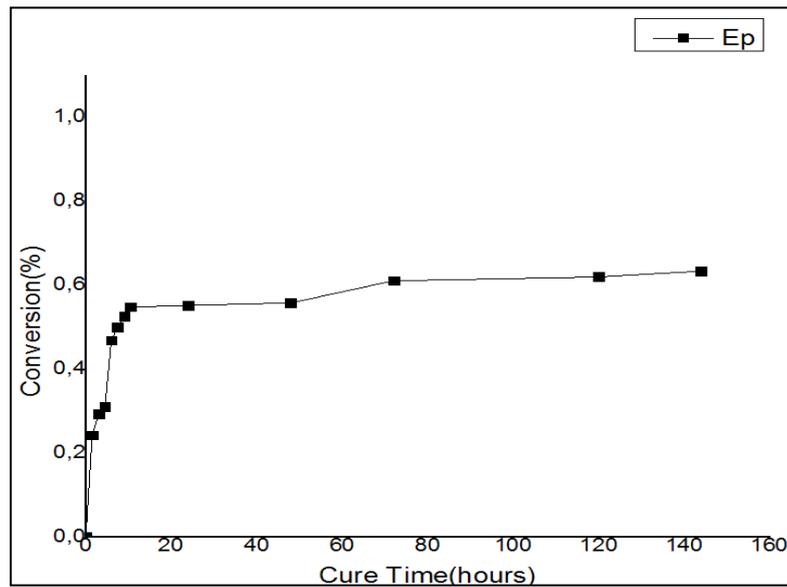


FIGURA 4.272 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 C93A TEPA

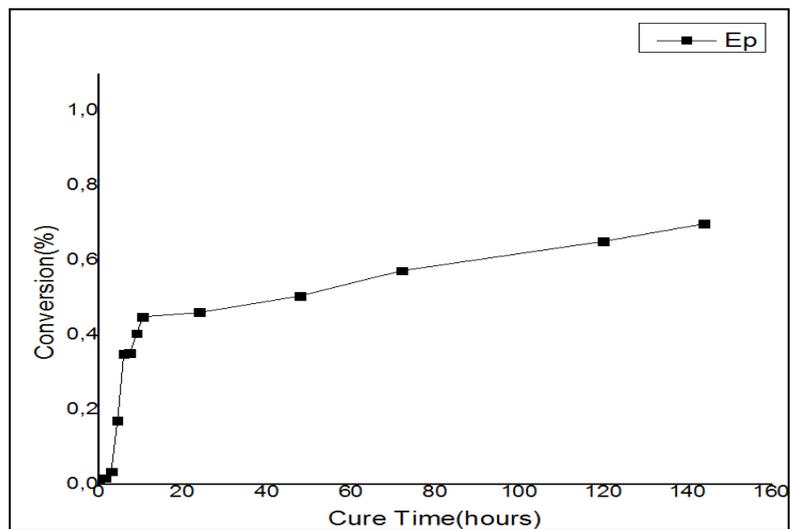


FIGURA 4.273 CONVERSIÓN DE EPÓXICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO (HORAS), MEZCLA GE-60 C93A-CA TEPA

TABLA 59**PORCENTAJE DE CONVERSIÓN FINAL Ep Y Ap de EDR-148**

	Ap	Ep
GE-60 EDR-148	99%	97%
GE-60 C30B EDR-148	98%	96%
GE-60 30B-CA EDR-148	99%	97%
GE-60 C93A EDR-148	98%	97%
GE-60 C93A-CA EDR-148	98%	98%

TABLA 60**PORCENTAJE DE CONVERSIÓN FINAL Ep Y Ap de EDR-176**

	Ap	Ep
GE-60 EDR-176	97%	97%
GE-60 C30B EDR-176	98%	97%
GE-60 30B-CA EDR-176	99%	99%
GE-60 C93A EDR-176	98%	98%
GE-60 C93A-CA EDR-176	98%	98%

TABLA 61**PORCENTAJE DE CONVERSIÓN FINAL Ep Y Ap DE D-230**

	Ap	Ep
GE-60 D-230	96%	95%
GE-60 C30B D-230	97%	95%
GE-60 30B-CA D-230	97%	94%
GE-60 C93A D-230	97%	95%
GE-60 C93A-CA D-230	99%	95%

TABLA 62**PORCENTAJE DE CONVERSIÓN FINAL Ep Y Ap DE T-403**

	Ap	Ep
GE-60 T-403	99%	88%
GE-60 C30B T-403	95%	90%
GE-60 30B-CA T-403	98%	92%
GE-60 C93A T-403	98%	90%
GE-60 C93A-CA T-403	97%	91%

TABLA 63**PORCENTAJE DE CONVERSIÓN FINAL Ep DE TETA**

	Ep
GE-60 TETA	84%
GE-60 C30B TETA	97%
GE-60 30B-CA TETA	99%
GE-60 C93A TETA	83%
GE-60 C93A-CA TETA	86%

TABLA 64**PORCENTAJE DE CONVERSIÓN FINAL Ep DE TEPA**

	Ep
GE-60 TEPA	74%
GE-60 C30B TEPA	83%
GE-60 30B-CA TEPA	76%
GE-60 C93A TEPA	82%
GE-60 C93A-CA TETA	87%

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

1. Para el ensayo de asentamiento los valores de diámetro hidrodinámico obtenidos para todas las resinas se relacionan con la Ley Stokes a concentraciones iniciales.
2. Los resultados de diámetro hidrodinámico, se cumplieron para resinas que tenían valores de viscosidad aproximados a la del agua.
3. La Fuerza de Arrastre y la Velocidad de Asentamiento guardan relación con el diámetro hidrodinámico.
4. Las mezclas realizadas con la resina epóxica GE-60 fueron mejores en comparación a las realizadas con GE-38 y GE-40, debido a que sus tiempos de asentamientos fueron mayores, además se observó que la resina GE-60 tuvo mayor compatibilidad con C30B que con las demás arcillas.

5. Respecto a la mezclas con cloisite 30B (C30B), las mezclas realizadas con la amina alifática T-403 fueron mejores en comparación a las realizadas con EDR-176, EDR-148, D-230, TETA, TEPA, debido a que sus tiempos de asentamientos fueron mayores, además se pudo observar que la resina T-403 tuvo mayor compatibilidad inicial con C30B que con las demás arcillas, basado en la Ley de Stokes.
6. Mientras menor sea la distancia de asentamiento, mayor es la compatibilidad de la mezcla, esto solo se puede concluir al final del ensayo.
7. En el caso de las mezclas con aminas la que menor distancia de asentamiento final fue la T-403 con la arcilla C30B.
8. Con el ensayo Termogravimétrico a medida que sube la temperatura se producen posiblemente un autocurado de las resinas epóxicas, lo cual atrasa la degradación de la mezcla debido a que los OH que posee la resina funcionan como catalizador.
9. Mediante el ensayo de FTIR (NIR) se determinó que la presencia de arcilla en resinas epóxicas y aminas alifáticas solo bloquea a la luz, debido a las diferentes intensidades de los picos.
10. Se pudo concluir que los picos en las mezclas entre arcilla, resina e inhibidor se presentan aproximadamente en los mismos valores de numero de onda en las gráficas FTIR , es decir no presentan ningún

cambio de posición, lo que indica que los compuestos orgánicos de las arcillas no interfieren o reaccionan con las resinas epóxicas o aminas.

11. La cantidad orgánica en las arcillas e inhibidor son muy pequeñas comparadas con la concentración de cada resina, es por ello que no se observa ningún cambio de posición de los picos en las gráficas de FTIR.
12. Se escogió las arcillas C30B y C93A para realizar el procedimiento de curado debido a los resultados obtenidos en los ensayos de Asentamiento y Termogravimétrico.
13. Las aminas EDR-148 y EDR-176 curadas con el GE-60 presentaron el mayor porcentaje de conversión en el curado a temperatura ambiente, obteniendo un 99 %, 98% respectivamente.
14. Los menores porcentajes de conversión de epóxico en el curado se observaron con la amina TEPA (74%), mientras que la amina D-230 tuvo un comportamiento aceptable con un curado del 94% .
15. Las aminas TETA y TEPA, tuvieron tiempos de curado casi instantáneo, por lo cual es imposible determinar mediante las fórmulas aplicadas para hallar las concentraciones en las mezclas, y solo se determinó la conversión del epóxico en las muestras.

Recomendaciones:

1. Al momento de observar la distancia de asentamiento, hacerlo de tal manera que el fluido este lo más horizontal posible.
2. Asegurarse que al momento de llenar los envases para observar los asentamientos, la mezcla este hasta el fondo del envase, ya que puede dar falsas lecturas.
3. Al momento de tomar lecturas, no maniobrar bruscamente los envases, ya que se pueden mezclar nuevamente y echar a perder los niveles de asentamiento anteriormente tomados.
4. Para la parte del ensayo Termogravimétrico, se debe limpiar bien el crisol de muestra debido a que pueden quedar residuos de mezclas anteriores, lo que conlleva a obtener error en los resultados. Para el caso de muestras se debe utilizar Acetona para diluir y limpiar la resina epóxica del crisol.
5. Al momento de depositar la mezcla en el crisol de muestra, obtener para todas las pruebas la misma cantidad de compuesto en la balanza ya que esto ayuda a que el resultado de las pruebas sea estándar.
6. Asegurarse de que en el momento que la prueba se realice, no se debe mover ni perturbar el analizador Termogravimétrico, ya que

esto hará que la gráfica presente ruido alterando la curva de degradación del material.

7. Al momento de hacer las pruebas del TGA asegurarse que la muestra a analizar sea “fresca”, es decir, realizada el mismo día de su preparación.
8. La configuración de vidrio para el procedimiento de FTIR debe estar totalmente limpia para no tener perturbaciones en las gráficas obtenidas al momento de la adquisición de datos.

APÉNDICES

DENSIDADES DE LAS ORGANOARCILLAS.

Cloisite	densidad (gr/cm ³)
20A	1,6
30B	1,98
93A	1,88
Na	2,86

DIÁMETRO DE LAS ORGANOARCILLAS.

Cloisite	Diámetro de arcilla (m)
20A	0,000007
30B	0,000007
93A	0,000007
Na	0,000007

PROPIEDADES FÍSICAS DE RESINAS EPÓXICAS Y AMINAS ALIFÁTICAS.

Nombre	EEW (g/eq)	AHEW (g/eq)	Viscosidad (Pa*s)	Viscosidad (cst)	Densidad (g/ml)
GE-60	177,5		13		1,285
GE-40	163		1,05		1,245
GE-38	170		1,23		1,23
TEPA		27	0,027		0,99
TETA		24	0,096		0,97
EDR-148		37		8	0,99
EDR-176		44		9	0,98
T-403		81,00		72	0,978
D-203		60		9,5	0,948

BIBLIOGRAFÍA

1. Messersmith P.; Giannelis E., Chem Mater, 1994, 6, 1719.
2. Wang Z.; Lan T.; Pinnavaia J., Chem Mater, 1996, 8, 2200.
3. Lan T.; Pinnavaia J., Chem Mater, 1994, 6, 2216.
4. Yang, G.; Fu S.Y.; Yang J.P.; Preparation and mechanical properties of modified epoxy resins with flexible diamines; Science Direct: Polymer, 2007, 48, 302-310.
5. Abeiga P.; Pérez J.; Tapia A.; Investigación de Organoarcillas a base de mezcla de aminas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, 2011.
6. Online[<http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1832>].
7. Quarmley J.; Rossi A.; Nanoclays; opportunities in Polymer compounds, Revista: Industrial Minerals, 2001, 400, 47-49, 52-53.
8. Koo Joseph H, McGraw-Hill, Polymer NanoComposites, 2006, 29.
9. Chen Shoong Chin, "Synthesis and Characterization of Polyurethane/clay", The University of Queensland, 2002.
10. Y. Kojima, A. Usuki, M. Kawasumi, J. APPL. Polym. Sci. 1993, 49, 1259
11. Koo Joseph H, McGraw-Hill, Polymer NanoComposites, 2006, 16-18.
12. Southern Clay Products –Nanoclay Disponible en: <http://www.nanoclay.com>.
13. Online [<http://www.huntsman.com>]

14. Abeiga V. Priscila, Pérez C. Jonathan, Tapia T. Ana, Investigación de Organoarcillas a Base de Mezcla de Aminas.
15. Online [<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3130/1/41353-1.pdf>.]
16. Baquerizo I. Luis, Estudio de la Relación Estructura, Propiedades de Barrera en Nanocompuestos a base de Resinas Epóxicas y Arcillas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008.
17. Silva L. Jorge, Saglimbeni J. María, Propiedades de la Estructura Reticular de un Nanocompuesto de Epóxico Curado con Diferentes Porcentajes de Amina, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2011.
18. Online [<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6686/12Txrj12de14.pdf;jsessionid=52418F1DCD24C7853E2B0717C0880F43.tdx2?sequence=12>]
19. Online [<http://webs.ono.com/refractario/contro1.gif>]
20. F. Lohman and William Norteman, Analytical Chemistry, 1963, 35 (6), 707
21. S. Paz-Abuin, A. Lopez-Quintela, M. Varela, and M. Pazos-Pellin, Polymer Communications, 1997, 38, 3117
22. L. Xu, J.H. fu and J. R Schlup, Industrial Engineering Chemical Research, 1996, 35, 963