



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Evaluación de la Dispersión, Propiedades Mecánicas, Ópticas y
su Relación con el Grado de Curado de Pinturas a Base de
Epóxicas y Nanoarcillas”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

(PROYECTO DE GRADUACIÓN)

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Joe Jorge Tapia Olaya

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A mis amados padres, mis queridos hermanos, por su apoyo incondicional para alcanzar este objetivo de vida propuesto.

A mis amigos de carrera universitaria por su colaboración y en especial al Ing. Andrés Rigail, Director del TFG, por su incondicional apoyo.

DEDICATORIA

A JEHOVA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

MSc. Andrés Rigail C.
DIRECTOR DEL TFG

Ing. Rodrigo Perugachi B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Joe Jorge Tapia Olaya

RESUMEN

En este trabajo final de graduación se evaluó el grado de compatibilidad de la arcilla C93A con cuatro aminas al agregarse en un 5% de la masa total, la asociación de tres organoarcillas (C20A, C93A, C30B) con las aminas y resinas al haberse añadido en 10% y 20% de la masa total, el efecto que provocaron al combinarse la C93A y el inhibidor de corrosión RM-210 para mezclarse con estas aminas y resinas en un 20% y 4% de la masa total respectivamente.

La participación que tuvo la C93A en el curado de cada sistema durante siete días bajo condiciones de temperatura y humedad controladas al agregarse el 5% de la masa total junto con el 1% del carboxilato de amina RM210 interviniendo como inhibidor de corrosión, así también como influyó en las propiedades mecánicas la organoarcilla C93A al estar presente con un 5% de la masa total en la microestructura de estas probetas curadas a temperatura ambiente y la dispersión de la C93A obtenida en estas mismas probetas, para todos estos ensayos se usaron como equipos de

caracterización el de espectrometría infrarroja (FTIR), difracción de rayos x (XRD), recubridor metálico de platino, microscopía de barrido electrónico (SEM) y la máquina de ensayos universal (MEU).

La cantidad de muestras preparadas para cada ensayo fue una importante parte en el desarrollo de este trabajo, así se tiene para el ensayo de asentamiento visual la preparación de siete nanocompuestos, para las caracterizaciones realizadas con el XRD se realizaron 51 nanocompuestos, se prepararon 15 nanocompuestos los mismo que se caracterizaron en el FTIR, para el ensayo de propiedades mecánicas fueron 48 probetas obtenidas al fabricar seis probetas por muestra con y sin arcilla, para esto se emplearon cuatro aminas con una sola resina para formar el sistema epóxico-amina, finalmente en la microscopía se emplearon dos trozos de la sección de falla de estas probetas tensionadas. Al presentarse los resultados de cada ensayo se determinó como se relacionaron y cuál fue el sistema resina-amina más óptimo al combinarse con las organoarcillas e inhibidor de corrosión.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	iii
ÍNDICE GENERAL.....	v
ABREVIATURAS	ix
SIMBOLOGÍA	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxi
ÍNDICE DE TABLAS	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	3
1.1 Antecedentes y Justificación.....	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivos Generales.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO 2	
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	8

2.1	Nanocompuestos de Resinas Epóxicas y Nanoarcillas.	8
2.2	Asentamiento de Nanoarcilla en Resinas Epóxicas y Aminas Mediante Método Físico.	28
2.3	Dispersión de Nanoarcilla en Resinas Epóxicas y Aminas Mediante Difractometría de Rayos X (XRD) y Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).	32
2.4	Dispersión y Curado de Sistemas Epóxicas-Aminas-Arcilla mediante Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y Difractometría de Rayos X (XRD).	35
2.5	Ensayos de Propiedades Mecánicas y Ópticas de Nanocompuestos.	40
 CAPÍTULO 3		
3.	PARTE EXPERIMENTAL.	45
3.1	Materiales, Herramientas y Equipos.	45
3.2	Procedimiento y Ensayos para la Obtención de Nanocompuestos de Resinas Epóxicas y Nanoarcillas.	76
3.2.1.	Mezcla de Aminas con Nanoarcilla Cloisite 93A para Monitorear Asentamiento vs Tiempo en el FTIR.	77

3.2.2. Mezcla de Resinas y Aminas con Nanoarcillas C93A, C20A, C30B e Inhibidor de Corrosión para Monitorear Asentamiento vs Tiempo en el XRD.....	82
3.2.3. Monitoreo del Curado de Resina Epóxica con Aminas y Arcillas-Inhibidor de Corrosión mediante FTIR.	97
3.2.4. Ensayos de Tensión Mecánica de Pinturas Epóxicas-Aminas-Arcillas.....	110
3.2.5. Microscopia de Barrido Electrónico de Pinturas Epóxicas-Aminas-Arcillas.....	119

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	125
4.1. Asentamiento de Nanoarcilla Mezclada con Aminas.	125
4.2. Asentamiento de Nanoarcilla e Inhibidor de Corrosión Mezclados con Aminas y Resinas.	142
4.3. Efecto del Inhibidor de Corrosión en la Reacción del Curado de las Resinas Epóxicas.	158
4.4. Curado de Mezcla de Resina Epóxica con Aminas.	163
4.5. Curado de Mezcla de Resina, Aminas, Nanoarcilla e Inhibidor de Corrosión.....	181

4.6. Propiedades Mecánicas de Pinturas a Base de Epóxicas, Aminas, Nanoarcilla e Inhibidor de Corrosión.....	199
4.7. Microscopía de Barrido Electrónico de Pinturas a Base de Epóxicas, Aminas, Nanoarcilla e Inhibidor de Corrosión.....	227
CAPÍTULO 5	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	232
APÉNDICES	
BIBLIOGRAFIA	

ABREVIATURAS

C93A	Cloisite 93A
C20A	Cloisite 20A
C30B	Cloisite 30B
RM-210	Inhibidor de Corrosión
FTIR	Espectrometría por Transformada de Fourier Infrarroja
XRD	Difractometría de Rayos X
SEM	Microscopía de Barrido Electrónico
MEU	Máquina de Ensayos Universal
GE-60	Erisys GE-60 Resina Alifática con Densidad 1.28g/ml
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos de Materiales
MMT	Montmorillonita
D-230	Jeffamine Diamina con Densidad 0.95g/ml
T-403	Jeffamine Triamina con Densidad 0.97g/ml
EDR-148	Jeffamine Diamina con Densidad 0.99g/ml
EDR-176	Jeffamine Diamina con Densidad 0.98g/ml
TETA	Jeffamine Trietilenotetramina con Densidad 0.97g/ml
TEPA	Jeffamine Tetraetilenopentamina con Densidad 0.99g/ml
VOC	Compuestos Volátiles Orgánicos
EPON-828	Erisys EPON-828 Resina con Densidad 1.28g/ml
GE-38	Erisys GE-38 Resina Alifática con Densidad 1.23g/ml
GE-40	Erisys GE-40 Resina Alifática con Densidad 1.24g/ml
AP	Amina Primaria
AS	Amina Secundaria
AT	Amina Terciaria
EP	Epóxico

SIMBOLOGÍA

F_d	Fuerza de Arrastre
R	Radio Hidrodinámico
μ_l	Viscosidad Dinámica del Líquido
v_t	Velocidad Terminal
W_s	Peso de la Esfera o Partícula
E_s	Empuje sobre la Esfera o Partícula
ρ_s	Densidad de la Esfera o Partícula
ρ_l	Densidad del Líquido
g	Aceleración de la Gravedad a Nivel del Mar
h	Altura de Desplazamiento
t	Tiempo de Asentamiento
D_h	Diámetro Hidrodinámico
AP	Amina Primaria
AS	Amina Secundaria
AT	Amina Terciaria
EP	Epóxico
Pa	Unidad de Presión en Pascal
m	Metros
seg	Segundos
g	Gramos

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1.	Red Cristalina de Filosilicatos de Montmorillonita.....	10
Figura 2.2.	Tipos de Asociación de Arcilla en los Nanocompuestos	11
Figura 2.3.	Estructura Química de Cloisite 20A.....	13
Figura 2.4.	Estructura Química de Cloisite 93A.....	13
Figura 2.5.	Estructura Química de Cloisite 30B.....	14
Figura 2.6.	Estructura Química de Amina Primaria.....	15
Figura 2.7.	Estructura Química de Amina Secundaria.....	15
Figura 2.8.	Estructura Química de Amina Terciaria.....	15
Figura 2.9.	Estructura Química de EDR-148.....	17
Figura 2.10.	Estructura Química de EDR-176.....	17
Figura 2.11.	Estructura Química de D-230.....	18
Figura 2.12.	Estructura Química de T-403.....	19
Figura 2.13.	Estructura Química de TETA.....	20
Figura 2.14.	Estructura Química de TEPA.....	21
Figura 2.15.	Estructura Química de Epóxico.....	22
Figura 2.16.	Estructura Química de GE-38.....	24
Figura 2.17.	Estructura Química de GE-40.....	24
Figura 2.18.	Estructura Química de GE-60.....	25
Figura 2.19.	Estructura Química de EPON-828.....	26
Figura 2.20.	Estructura Química de RM-210.....	27
Figura 2.21.	Diagrama de Fuerzas sobre Esfera.....	29
Figura 2.22.	Soporte de Tubo de Ensayo para Asentamiento Visual.....	32
Figura 2.23.	Portamuestra de Líquidos y Polvos para Difractometría en el XRD.....	33

Figura 2.24.	Portamuestra de Líquidos para Espectrometría Mid-IR en el FTIR.....	34
Figura 2.25.	Portamuestra de Curado para Espectrometría Near-IR en el FTIR.....	39
Figura 2.26.	Portamuestra de Disco Curado para Difractometría en el XRD.....	40
Figura 2.27.	Alineación de Mandriles de Sujeción para Probetas.....	42
Figura 2.28.	Portamuestras dentro de Recubridor Metálico de Platino.....	44
Figura 2.29.	Portamuestra dentro de Microscopio de Barrido Electrónico.....	44
Figura 3.1.	Cloisite 20A.....	46
Figura 3.2.	Cloisite 93A.....	46
Figura 3.3.	Cloisite 30B.....	47
Figura 3.4.	Carboxilato de Amina RM-210.....	47
Figura 3.5.	Jeffamine EDR-148.....	48
Figura 3.6.	Jeffamine EDR-176.....	48
Figura 3.7.	Jeffamine D-230.....	49
Figura 3.8.	Jeffamine T-403.....	49
Figura 3.9.	Trietilenotetramina TETA.....	50
Figura 3.10.	Tetraetilenopentamina TEPA.....	50
Figura 3.11.	Resina Epóxica GE-38.....	51
Figura 3.12.	Resina Epóxica GE-40.....	51
Figura 3.13.	Resina Epóxica GE-60.....	52
Figura 3.14.	Resina Epóxica EPON-828.....	52
Figura 3.15.	Tolueno.....	53
Figura 3.16.	Aceite Mineral.....	53
Figura 3.17.	Aceite de Silicón.....	54
Figura 3.18.	Silicón Alimenticio.....	54
Figura 3.19.	Envase de Mezclado.....	55

Figura 3.20.	Guantes de Látex.....	55
Figura 3.21.	Mascarilla Protectora.....	56
Figura 3.22.	Paño Desechable.....	56
Figura 3.23.	Pipeta Desechable.....	57
Figura 3.24.	Tubo de Ensayo.....	57
Figura 3.25.	Acetona.....	57
Figura 3.26.	Alcohol Isopropílico.....	58
Figura 3.27.	Desecante.....	58
Figura 3.28.	Vidrio para Microscopía.....	59
Figura 3.29.	Lámina de Caucho.....	59
Figura 3.30.	Plancha de Polipropileno.....	60
Figura 3.31.	Lámina de Polipropileno.....	60
Figura 3.32.	Rodela Metálica.....	61
Figura 3.33.	Espátula Doble.....	61
Figura 3.34.	Paleta Plana.....	62
Figura 3.35.	Cuchara Doble.....	62
Figura 3.36.	Estilete.....	63
Figura 3.37.	Tijera.....	63
Figura 3.38.	Molde para Silicón.....	63
Figura 3.39.	Envase de Plataforma.....	64
Figura 3.40.	Envase Hermético.....	64
Figura 3.41.	Placa Metálica.....	65
Figura 3.42.	Corta Vidrio.....	65
Figura 3.43.	Bincha Metálica.....	66
Figura 3.44.	Regla Metálica.....	66
Figura 3.45.	Marcador.....	67
Figura 3.46.	Soporte Metálico.....	67

Figura 3.47.	Sorbona.....	68
Figura 3.48.	Mezclador Centrifugo.....	69
Figura 3.49.	Horno Eléctrico.....	69
Figura 3.50.	Balanza Digital max 210g d 0.001g.....	70
Figura 3.51.	Balanza Digital max 3100g d 0.1g.....	70
Figura 3.52.	Cámara de Vacío.....	71
Figura 3.53.	Deshumidificador de Aire.....	71
Figura 3.54.	Higrómetro.....	72
Figura 3.55.	Espectrofotómetro Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR).....	72
Figura 3.56.	Difractómetro de Rayos X (XRD).....	73
Figura 3.57.	Máquina de Ensayos Universal.....	74
Figura 3.58.	Troquelador.....	75
Figura 3.59.	Recubridor Metálico de Platino.....	75
Figura 3.60.	Microscopio de Barrido Electrónico.....	76
Figura 3.61.	Vertido de Mezcla en Tubo de Ensayo para Asentamiento Visual.....	80
Figura 3.62.	Vertido de Mezcla en Portamuestra para Espectrofotometría Mid-IR.....	82
Figura 3.63.	Pesaje de Aminas, Resinas y Nanoarcillas.....	93
Figura 3.64.	Colocación de Arcilla con Medio Líquido en Envase de Mezclado.....	93
Figura 3.65.	Colocación de Envase de Mezclado en Holder.....	94
Figura 3.66.	Colocación de Holder con Muestra en Centrifugador...	94
Figura 3.67.	Colocación de Mezcla en el Portamuestra del XRD....	95
Figura 3.68.	Molde con Plantillas Circulares para Silicón.....	95
Figura 3.69.	Mezcla Vertida en Molde de Silicón para el Curado de Disco.....	96
Figura 3.70.	Discos Curados junto a los Portamuestras del XRD.....	96
Figura 3.71.	Colocación de Portamuestra en Difractómetro de Rayos X.....	97
Figura 3.72.	Pesaje de Resina, Amina, Arcilla e Inhibidor de Corrosión.....	106

Figura 3.73.	Colocación de Inhibidor y Arcilla en Envase de Mezclado.....	107
Figura 3.74.	Colocación de Envase de Mezclado con Inhibidor y Arcilla en Horno Eléctrico.....	107
Figura 3.75.	Colocación de Envase de Mezclado en Holder para la Centrifugadora.....	108
Figura 3.76.	Elementos para Construir un Portamuestra de Curado.....	108
Figura 3.77.	Vertido de Mezcla en Portamuestra de Curado.....	109
Figura 3.78.	Portamuestra de Curado de Amina D-230 y T-403 con Arcilla e Inhibidor.....	109
Figura 3.79.	Colocación de Portamuestra en Espectrofotómetro Infrarrojo.....	110
Figura 3.80.	Pesaje de Resina, Amina y Arcilla en Balanza Digital 210g d 0.001g.....	115
Figura 3.81.	Pesaje de Gel de Silicón con Agente Curador en Balanza Digital 3100g d 0.1g.....	115
Figura 3.82.	Troquelador para Plantillas Normalizadas de Probetas de Tensión.....	116
Figura 3.83.	Molde para Silicón con Plantillas Normalizadas para Probetas de Tensión.....	116
Figura 3.84.	Colocación de Molde para Silicón en Cámara de Vacío para Extracción de Aire.....	117
Figura 3.85.	Molde de Silicón para el Curado de Probetas.....	117
Figura 3.86.	Probetas Curadas Rayadas de GE-60 con TETA y C93A.....	118
Figura 3.87.	Colocación de Probeta en Máquina Universal de Ensayos.....	118
Figura 3.88.	Probetas Fracturadas de GE-60 con EDR-176 de Ensayo de Tensión.....	121
Figura 3.89.	Probetas Cortadas colocadas en Portamuestra para Recubridor.....	122
Figura 3.90.	Colocación de Portamuestra en Recubridor Metálico de Platino.....	122
Figura 3.91.	Portamuestras con Probetas en Recubridor Metálico de Platino.....	123
Figura 3.92.	Colocación de Portamuestra en Microscopio de Barrido Electrónico.....	123
Figura 3.93.	Portamuestra con Probeta en Microscopio de Barrido Electrónico.....	124
Figura 4.1.	Distancia vs Tiempo de Asentamiento de Arcilla C93A.....	127
Figura 4.2.	Velocidad de Asentamiento vs Tiempo de Arcilla C93A.....	129

Figura 4.3.	Diámetro Hidrodinámico vs Volumen de Asentamiento de C93A.....	131
Figura 4.4.	Diámetros Hidrodinámicos Finales de C93A.....	131
Figura 4.5.	Picos de Absorbancia de C93A en D-230.....	133
Figura 4.6.	Picos de Absorbancia de C93A en EDR-148.....	133
Figura 4.7.	Picos de Absorbancia de C93A en EDR-176.....	134
Figura 4.8.	Picos de Absorbancia de C93A en TETA.....	134
Figura 4.9.	Picos de Absorbancia de C93A en Aceite Mineral.....	135
Figura 4.10.	Picos de Absorbancia de C93A en Aceite de Silicón.....	135
Figura 4.11.	Picos de Absorbancia de C93A en Tolueno.....	136
Figura 4.12.	Picos Normalizados de C93A en Medios Líquidos vs Tiempo.....	137
Figura 4.13.	Relación entre Asentamiento y Absorbancia de EDR-148 con C93A.....	138
Figura 4.14.	Relación entre Asentamiento y Absorbancia de EDR-176 con C93A.....	139
Figura 4.15.	Relación entre Asentamiento y Absorbancia de Aceite Mineral con C93A.....	139
Figura 4.16.	Relación entre Asentamiento y Absorbancia de Aceite de Silicón con C93A.....	140
Figura 4.17.	Relación entre Asentamiento y Absorbancia de TETA con C93A.....	140
Figura 4.18.	Relación entre Asentamiento y Absorbancia de Tolueno con C93A.....	141
Figura 4.19.	Relación entre Asentamiento y Absorbancia de D-230 con C93A.....	141
Figura 4.20.	Picos Característicos de Arcillas en Amina D-230.....	145
Figura 4.21.	Picos Característicos de Arcillas en Amina EDR-148...	145
Figura 4.22.	Picos Característicos de Arcillas en Amina EDR-176...	146
Figura 4.23.	Picos Característicos de Arcillas en Amina T-403.....	146
Figura 4.24.	Picos Característicos de Arcillas en Amina TEPA.....	147
Figura 4.25.	Picos Característicos de Arcillas en Amina TETA.....	147
Figura 4.26.	Picos Característicos de Arcillas en Resina GE-38.....	148
Figura 4.27.	Picos Característicos de Arcillas en Amina GE-40.....	148

Figura 4.28.	Picos Característicos de Arcillas en Amina GE-60.....	149
Figura 4.29.	Picos Característicos de Arcillas en Amina EPON-828.	149
Figura 4.30.	Picos Característicos de C93A en D-230 con RM-210.	152
Figura 4.31.	Picos Característicos de C93A en EDR-148 con RM-210.....	153
Figura 4.32.	Picos Característicos de C93A en EDR-176 con RM-210.....	153
Figura 4.33.	Picos Característicos de C93A en T-403 con RM-210.	154
Figura 4.34.	Picos Característicos de C93A en TEPA con RM-210.	154
Figura 4.35.	Picos Característicos de C93A en TETA con RM-210.	155
Figura 4.36.	Picos Característicos de C93A en GE-60 con RM-210.	155
Figura 4.37.	Picos Característicos de C93A en GE-40 con RM-210.	156
Figura 4.38.	Picos Característicos de C93A en GE-38 con RM-210.	156
Figura 4.39.	Picos Característicos de C93A en EPON-828 con RM-210.....	157
Figura 4.40.	Picos Característicos de Amina Primaria y Epóxico de GE-60 con 1% RM-210.....	159
Figura 4.41.	Picos Característicos de Amina Primaria y Epóxico de GE-60 con 3% RM-210.....	159
Figura 4.42.	Picos Característicos de Amina Primaria y Epóxico de GE-60 con 5% RM-210.....	160
Figura 4.43.	Áreas Normalizadas de Picos de AP y EP de GE-60 con 1% de RM-210 vs Tiempo.....	161
Figura 4.44.	Áreas Normalizadas de Picos de AP y EP de GE-60 con 3% de RM-210 vs Tiempo.....	162
Figura 4.45.	Áreas Normalizadas de Picos de AP y EP de GE-60 con 5% de RM-210 vs Tiempo.....	162
Figura 4.46.	Picos Característicos de GE-60 con EDR-148.....	164
Figura 4.47.	Picos Característicos de GE-60 con EDR-176.....	165
Figura 4.48.	Picos Característicos de GE-60 con D-230.....	165
Figura 4.49.	Picos Característicos de GE-60 con T-403.....	166
Figura 4.50.	Picos Característicos de GE-60 con TETA.....	166
Figura 4.51.	Picos Característicos de GE-60 con TEPA.....	167

Figura 4.52.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE60+EDR-148.....	168
Figura 4.53.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+EDR-148.....	169
Figura 4.54.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE-60+EDR-176.....	170
Figura 4.55.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+EDR-176.....	171
Figura 4.56.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE-60+D-230.....	173
Figura 4.57.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+D-230.....	173
Figura 4.58.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE-60+T-403.....	175
Figura 4.59.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+T-403.....	175
Figura 4.60.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE-60+TETA.....	177
Figura 4.61.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+TETA.....	177
Figura 4.62.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE-60+TEPA.....	179
Figura 4.63.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+TEPA.....	179
Figura 4.64.	Picos Característicos de GE-60 con D-230 y C93A.....	182
Figura 4.65.	Picos Característicos de GE-60 con D-230, C93A y RM210.....	182
Figura 4.66.	Picos Característicos de GE-60 con T-403 y C93A.....	183
Figura 4.67.	Picos Característicos de GE-60 con T-403, C93A y RM210.....	183
Figura 4.68.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE-60+D-230+C93A.....	185
Figura 4.69.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+D-230+C93A.....	185
Figura 4.70.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE-60+D-230+C93A+RM-210.....	187
Figura 4.71.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+D-230+C93A+RM-210.....	187
Figura 4.72.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE-60+T-403+C93A.....	189
Figura 4.73.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+T-403+C93A.....	189

Figura 4.74.	Concentración vs Tiempo de AP, AS y AT de GE-60+T-403+C93A+RM-210.....	191
Figura 4.75.	Conversión de Epóxico y Amina Primaria vs Tiempo de GE-60+T-403+C93A+RM-210.....	191
Figura 4.76.	Difractometría de Disco Curado de GE-60+EDR-148...	193
Figura 4.77.	Difractometría de Disco Curado de GE-60+EDR-148+C93A.....	194
Figura 4.78.	Difractometría de Disco Curado de GE-60+EDR-176...	195
Figura 4.79.	Difractometría de Disco Curado de GE-60+EDR-176+C93A.....	195
Figura 4.80.	Difractometría de Disco Curado de GE-60+TEPA.....	196
Figura 4.81.	Difractometría de Disco Curado de GE-60+TEPA+C93A.....	197
Figura 4.82.	Difractometría de Disco Curado de GE-60+TETA.....	198
Figura 4.83.	Difractometría de Disco Curado de GE-60+TETA+C93A.....	198
Figura 4.84.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+EDR-148.....	201
Figura 4.85.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+EDR-148+C93A	201
Figura 4.86.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+EDR-176.....	204
Figura 4.87.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+EDR-176+C93A	204
Figura 4.88.	Diagrama de Barras para Propiedades Mecánicas de GE-60 con EDR-148 y EDR-176.....	206
Figura 4.89.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+D-230.....	210
Figura 4.90.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+D-230+C93A.....	210
Figura 4.91.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+T-403.....	213
Figura 4.92.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+T-403+C93A.....	213
Figura 4.93.	Diagrama de Barras para Propiedades Mecánicas de GE-60 con D-230 y T-403.....	215
Figura 4.94.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+TETA.....	219
Figura 4.95.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+TETA+C93A.....	219
Figura 4.96.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+TEPA.....	222
Figura 4.97.	Esfuerzo vs Deformación de GE-60+TEPA+C93A.....	222
Figura 4.98.	Diagrama de Barras para Propiedades Mecánicas de GE-60 con TETA y TEPA.....	224

Figura 4.99. Sección de Falla a 450x de GE-60+EDR-176.....	228
Figura 4.100. Sección de Falla a 2340x de GE-60+EDR-176.....	228
Figura 4.101. Sección de Falla a 450x de GE-60+EDR-176+C93A....	230
Figura 4.102. Sección de Falla a 2340x de GE-60+EDR-176+C93A..	230

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Tiempos de Asentamiento de Arcilla en Medios Líquidos.....	126
Tabla 2	Velocidades de Asentamiento de Arcilla en Medios Líquidos.....	128
Tabla 3	Diámetros Hidrodinámicos de Arcilla en Medios Líquidos.....	130
Tabla 4	Áreas de Picos de Amina Primaria en Medios Líquidos con Cloisite 93A.....	136
Tabla 5	Picos Característicos de Arcillas en Aminas y Resinas	144
Tabla 6	Picos Característicos de Mezcla de C93A y RM-210 con Resinas y Aminas.....	151
Tabla 7	Picos Característicos de Mezcla de C93A con Resinas y Aminas.....	152
Tabla 8	Picos Característicos de GE-60 con RM-210.....	161
Tabla 9	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+EDR-148.....	168
Tabla 10	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+EDR-176.....	170
Tabla 11	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+D-230.....	172
Tabla 12	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+T-403.....	174
Tabla 13	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+TETA.....	176
Tabla 14	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+TEPA.....	178
Tabla 15	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+D-230+C93A.....	184
Tabla 16	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+D-230+C93A+RM-210.....	186
Tabla 17	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+T-403+C93A.....	188
Tabla 18	Curado de Amina Primaria, Secundaria, Terciaria y Epóxico de GE-60+T-403+C93A+RM-210.....	190
Tabla 19	Espaciamientos Basales de Probetas Curadas en forma de Disco.....	193
Tabla 20	Valores para las Propiedades Mecánicas de Probetas Curadas de EDR-148 con C93A.....	200
Tabla 21	Valores para las Propiedades Mecánicas de Probetas Curadas de EDR-176 con C93A.....	203

Tabla 22	Comparativo de Propiedades Mecánicas entre Probetas de GE-60 con EDR-148 y EDR-176.....	206
Tabla 23	Valores para las Propiedades Mecánicas de Probetas Curadas de D-230 con C93A.....	209
Tabla 24	Valores para las Propiedades Mecánicas de Probetas Curadas de T-403 con C93A.....	212
Tabla 25	Comparativo de Propiedades Mecánicas entre Probetas de GE-60 con D-230 y T-403.....	215
Tabla 26	Valores para las Propiedades Mecánicas de Probetas Curadas de TETA con C93A.....	218
Tabla 27	Valores para las Propiedades Mecánicas de Probetas Curadas de TEPA con C93A.....	221
Tabla 28	Comparativo de Propiedades Mecánicas entre las Probetas de GE-60 con TETA y TEPA.....	224

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este TFG abarca principalmente lo siguiente:

En el capítulo 1 se describen los antecedentes sobre como los nanocompuestos aplicados a los sistemas epóxicos han mejorado sus diferentes propiedades, como las mecánicas, químicas y de barrera para evitar la corrosión, los mismos que son aplicados como recubrimientos anticorrosivos en la industria metalmeccánica junto con el respectivo planteamiento del problema, objetivos generales y específicos.

En el capítulo 2 se describen los fundamentos teóricos de los nanocompuestos de resinas epóxicas y nanoarcillas, los diferentes nanocompuestos que se obtienen por centrifugado, la estructura y composición química de los distintos componentes empleados como arcillas, inhibidor de corrosión, aminas y resinas para realizar las mezclas, la teoría y leyes envueltas en cada método de caracterización junto con el equipo de análisis para cada ensayo.

En el capítulo 3 concierne a la parte práctica en donde se plantearán desde breves descripciones para los materiales, insumos, herramientas y equipos de caracterización, hasta los procedimientos que se realizarán paso a paso

según el grupo de muestras a obtenerse a partir del sintetizado, este para facilidad de comprensión se diferirá en tres partes, una para el pesaje de los componentes, otra para el tratamiento térmico previo al mezclado en ciertos casos, el mezclado en la centrifugadora y finalmente la caracterización.

En el capítulo 4 se presentarán los datos tabulados y graficados de cada grupo de mezclas según los respectivos componentes y arreglos, dicha información al final tendrá un breve párrafo sobre el análisis cuantitativo y cualitativo de cada ensayo, que servirá para poder inferir el comportamiento de ciertas.

Finalmente en el capítulo 5 se darán las respectivas conclusiones sobre cada resultado obtenido de los ensayos realizados junto con las pertinentes recomendaciones concernientes a la manipulación de los materiales empleados y equipos de caracterizado.

CAPÍTULO 1

1. INFORMACIÓN GENERAL.

1.1 Antecedentes y Justificación.

Una de las necesidades imprescindibles en la industria metalmecánica desde sus inicios es retardar el efecto de la corrosión en el acero, para esto una opción son los recubrimientos termoestables, aprovechando sus características de solidificación por reacción química brindan facilidad y rapidez al momento de aplicación. A través de los años se han desarrollado notables avances en estos recubrimientos basados en el sistema epóxico formando nanocompuestos, estos han contribuido en la mejora de las propiedades de barrera, mecánicas, químicas, adhesión, térmicas y eléctricas. Cabe mencionar que este sistema no genera subproductos y es de fácil aplicación a temperatura ambiente (1).

Dicho sistema ha formado parte del estudio de los nanocompuestos cuyo desarrollo está en auge en la actualidad, es

importante realizar una buena síntesis y caracterización, así se podrá demostrar sus ventajas ante otros materiales compuestos, según revela un estudio enfocado en la síntesis y caracterización de nanocompuestos epóxicos con resinas a base de bisfenol (2).

Este proyecto se centra en el análisis de estas propiedades basadas en el sistema epóxico-amina reforzadas con nanoarcilla tipo montmorillonita (MMT), combinada con un inhibidor de corrosión para formar un nanocompuesto, para esto se emplearon las nanoarcillas del grupo Cloisite, las polieteraminas junto con las etilenoaminas del proveedor HUNTSMAN y las resinas epóxicas del tipo ERISIYS, existen un estudio que expone las mejoras en algunas de las propiedades físicas y químicas de estos recubrimientos al lograr dispersar uniformemente estas nanoarcillas junto con un inhibidor de corrosión en la matriz formada por la resina y amina, dichas mejoras se respaldan por la compatibilidad, espaciamientos basales y porcentajes de conversión de amina primaria alcanzadas (3).

Para analizar y establecer una relación entre cada una de las propiedades consideradas, se realizaron varias mezclas entre las nanoarcillas, aminas y resinas epóxicas por separado para determinar la mezcla óptima, basándose en la compatibilidad de las

nanoarcillas cuantificadas por el tiempo de asentamiento que permitió calcular el diámetro hidrodinámico, los espaciamientos basales al momento de combinarlos, con las probetas curadas a base del sistema mencionado se evaluó el módulo de Young, conversión de amina primaria y epóxico, el grado de dispersión de la nanoarcilla en la matriz.

En el desarrollo de este proyecto se pudo determinar que la cloisite 20A tiene mayor compatibilidad con las aminas alifáticas y resinas epóxicas al obtenerse mayores espaciamientos basales entre silicatos. Con respecto al inhibidor de corrosión este al juntarse con la cloisite 93A produjo un aumento del 2% en los picos de absorbancia para la amina D-230 en el difractómetro, mientras que para el ensayo de curado produjo un aumento del 1% en la conversión de epóxico para el sistema GE-60+D-230 superando al sistema GE-60+T-403 con el que fue comparado al ser monitoreados simultáneamente bajo las mismas condiciones.

1.2 Planteamiento del Problema.

Determinar la relación que existe entre las propiedades de dispersión, módulo elástico, ópticas, y curado a temperatura

ambiente para el sistema epóxico-amina al agregar ciertos porcentajes en masa de nanoarcillas e inhibidor de corrosión por medio de los ensayos de asentamiento, espectrometría, difracción, microscopía y tensión mecánica.

1.3 Objetivos.

Este proyecto tiene como objetivo general determinar la compatibilidad más factible entre la nanoarcilla C93A y el sistema epóxico-aminas que emplea como base en su composición la resinas epóxica GE-60, para los objetivos específicos analizar y relacionar ciertas propiedades de interés para emplear este sistema como recubrimiento, dichas propiedades cualitativas y cuantitativas permitirán inferir en determinar el sistema con las óptimas propiedades y características como recubrimiento contra la corrosión.

1.3.1 Objetivos Generales.

Obtener la mejor asociación posible entre la resina epóxica GE-60, las seis aminas alifáticas, la nanoarcilla C93A y el inhibidor de corrosión, por medio de la caracterización de estos nanocompuestos.

1.3.2 Objetivos Específicos.

La relación entre el diámetro hidrodinámico, espaciamiento basal, conversión de amina primaria y epóxico, módulo elástico, dispersión de la nanoarcilla C93A en el sistema epóxico-amina a base de la resina epóxica GE-60 y las seis aminas alifáticas (D-230, EDR-148, EDR-176, T-403, TEPA, TETA) junto con el inhibidor de corrosión RM210.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

2.1 Nanocompuestos de Resinas Epóxicas y Nanoarcillas.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de investigaciones dentro del campo de los nanocompuestos para potenciar e implementar ciertas propiedades en materiales de uso común (4), los nanocompuestos epóxicos se basan en la adición de nanoarcillas generalmente en bajos porcentajes del peso total hasta un 5%, tratadas a nivel nanométrico especialmente con placas llamadas silicatos de aluminio o magnesio, cuando la presencia de estos en la matriz epóxica forman un arreglo de exfoliación o dispersión uniforme se obtienen mejoras en las propiedades mecánicas, térmicas, de barrera o permeabilidad, adherencia y conductividad eléctrica (5).

Las arcillas comunes como se conocen se originaron naturalmente dependiendo de la zona geográfica, debido a esto existen variedades de arcillas distintivas por su forma y composición (6), para las nanoarcillas una de las características influyentes en las propiedades a obtenerse en los nanocompuestos es su pureza, en su mayoría se componen de silicatos de aluminio con forma de hoja rectangulares organizadas en capas, un ejemplo de arcilla común son las tipo montmorillonita con una estructura basada en los filosilicatos, esto se debe a su red cristalina que se forma en capas bidimensionales en donde una lámina octaédrica central de alúmina o magnesia se fusiona a dos tetraedros de sílice externa por las puntas de modo que comparte sus iones de oxígeno formando un espesor de capa de 1nm, con dimensiones laterales alrededor de los 300Å, dependiendo del arreglo que se obtenga entre estos silicatos y la matriz polimérica es que el nanocompuesto tendrá o no propiedades mejoradas (7).

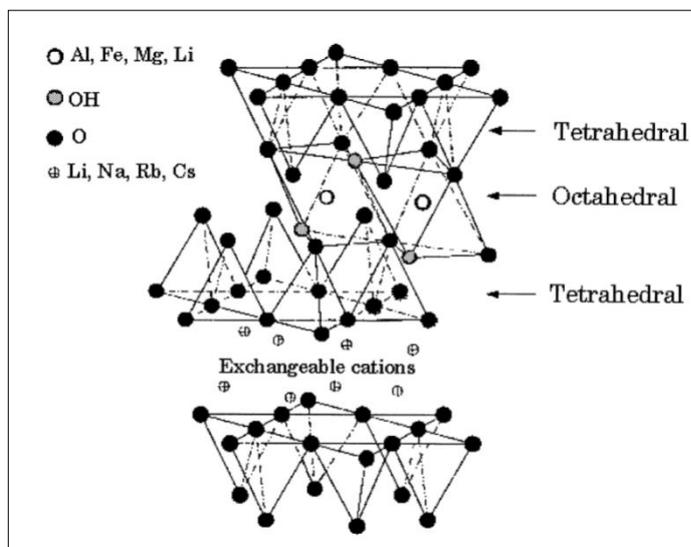


FIGURA 2.1. RED CRISTALINA DE FILOSILICATOS DE MONTMORILLONITA (7)

Por consiguiente al momento de tratar de formar un nanocompuesto existen tres posibles escenarios en cuanto al grado de asociación que resulte entre las arcillas y la matriz polimérica, así se tiene:

- *Microcompuestos de Fases Separadas.*- sucede cuando las cadenas poliméricas no han tenido una buena asociación con los silicatos de la arcillas por lo que se forma un microcompuesto con dos fases, sin mejoras en sus propiedades.
- *Nanocompuestos Intercalados.*- se obtienen cuando las cadenas poliméricas se asocian con las placas de la arcilla

formando especies de sandwiches consecutivos originando los llamados espacios basales en la mezcla

- *Nanocompuestos Exfoliados*.- se forman cuando las láminas de la arcilla se dispersan en forma aleatoria y uniforme en toda la matriz del polimérica.

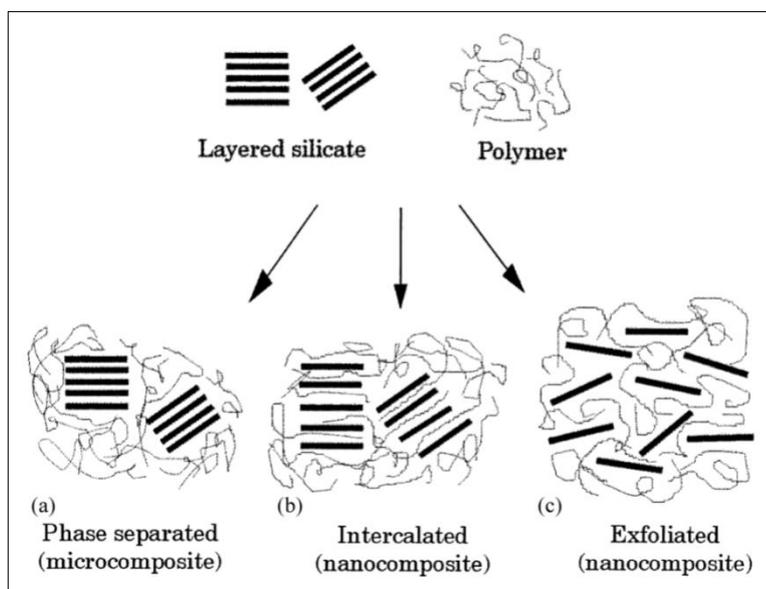


FIGURA 2.2. TIPOS DE ASOCIACIÓN DE ARCILLA EN LOS NANOCOMPUESTOS (8)

Al añadir diferentes proporciones en masa de arcilla, esta al dispersarse de manera uniforme resultará con una buena asociación entre la arcilla y la matriz. Para este efecto se realizaron varias mezclas entre diferentes resinas y aminas con nanoarcillas para evaluar las mejores compatibilidades y exponer las mejoras en algunas de sus propiedades.

Nanoarcillas.- las nanoarcillas que tuvieron una participación relevante en el desarrollo de este proyecto fue la tipo montmorillonita de la línea comercial llamada Cloisite producida por la compañía americana Southern Clay (9), con la principal aplicación en el campo de los polímeros nanocompuestos, se emplearon las siguientes nanoarcillas para los ensayos:

- Cloisite 20A
- Cloisite 93A
- Cloisite 30B

Organoarcilla Cloisite 20A.- es una arcilla natural tipo montmorillonita modificada con una sal de amonio cuaternario ($M_2(HT)_2$: Dimetil, bis hidrogenado tallow, amonio cuaternario), donde HT es el tallow hidrogenado, este tallow es un compuesto natural formado por cadenas de carbono (~65% C18, ~30% C16, ~5% C14). Se usa como aditivo para mejorar varias propiedades físicas de los plásticos como refuerzo en la temperatura del calor de distorsión, el coeficiente de expansión térmica lineal y de barrera (10), su estructura química molecular se muestra en la figura 2.3.

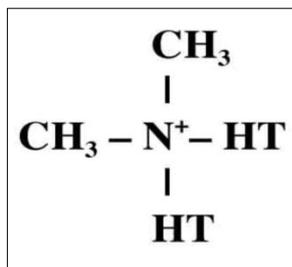


FIGURA 2.3. ESTRUCTURA QUÍMICA DE CLOISITE 20A (11)

Organoarcilla Cloisite 93A.- es una arcilla natural tipo montmorillonita modificada con una sal de amonio ternario ($M_1H_1(HT)_2$: Metil, bis hidrogenado tallow de amonio), donde HT es el tallow hidrogenado, este tallow es un compuesto natural formado por cadenas de carbono (~65% C18, ~30% C16, ~5% C14). Se usa como aditivo para mejorar varias propiedades físicas de los plásticos como refuerzo en la temperatura del calor de distorsión, el coeficiente de expansión térmica lineal y de barrera (12), su estructura química molecular se muestra en la figura 2.4.

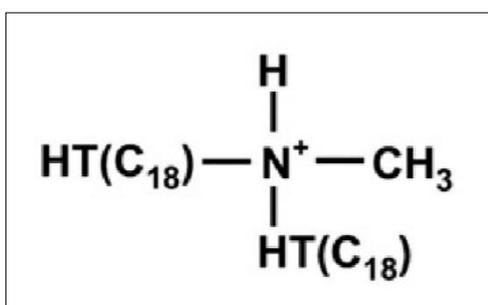


FIGURA 2.4. ESTRUCTURA QUÍMICA DE CLOISITE 93A (13)

Organoarcilla Cloisite 30B.- es una arcilla natural tipo montmorillonita modificada con una sal de amonio ternario ((HE)₂M₁T₁: Bis dos hidroxietil, metil hidrogenado tallow de amonio), donde HT es el tallow hidrogenado, este tallow es un compuesto natural formado por cadenas de carbono (~65% C18, ~30% C16, ~5% C14). Se usa como aditivo para mejorar varias propiedades físicas de los plásticos como refuerzo en la temperatura del calor de distorsión, el coeficiente de expansión térmica lineal y de barrera (14), su estructura química molecular se muestra en la figura 2.5.

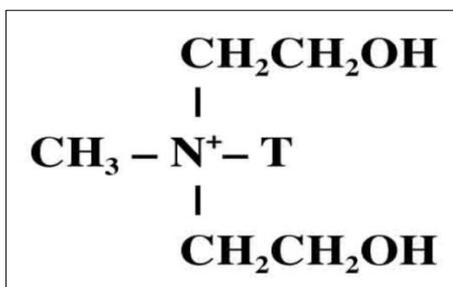


FIGURA 2.5. ESTRUCTURA QUÍMICA DE CLOISITE 30B (15)

Aminas.- las aminas son compuestos orgánicos que poseen el nitrógeno e hidrogeno como elementos principales en su estructura molecular debido a que se derivan del amoniaco, se obtienen sustituyendo uno de los átomos de hidrogeno por un grupo alquilo o arilo, dependiendo de la cantidad de sustituyentes pareados con

el nitrógeno se tienen las aminas primarias, secundarias y terciarias, con la siguientes representaciones figuras (16).

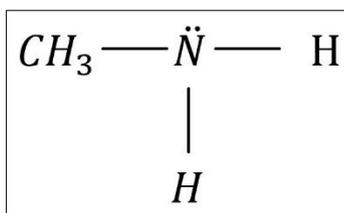


FIGURA 2.6. ESTRUCTURA QUÍMICA DE AMINA PRIMARIA (16)

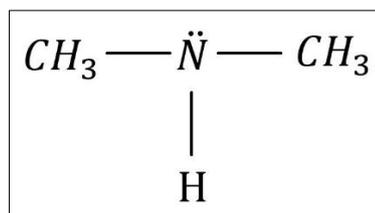


FIGURA 2.7. ESTRUCTURA QUÍMICA DE AMINA SECUNDARIA (16)

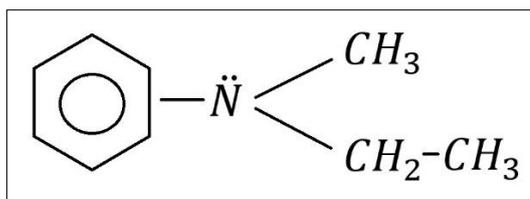


FIGURA 2.8. ESTRUCTURA QUÍMICA DE AMINA TERCIARIA (16)

Por lo tanto dependiendo de la estructura molecular que tenga presentarán distintas propiedades químicas, como la capacidad de

formar los llamados puentes de hidrogeno al combinarse con moléculas hidrofílicas y nitrógenos.

A continuación se enuncian y describen en breves rasgos los agentes de solidificación o curado empleados en este proyecto, los cuales son:

- JEFFAMINE EDR-148 (XJT-504)
- JEFFAMINE EDR-176 (XJT-590)
- JEFFAMINE D-230
- JEFFAMINE T-403
- Trietilenotetramina TETA
- Tetraetilenopentamina TEPA

JEFFAMINE EDR-148.- esta polieteramina es una diamina simétrica sin obstrucciones, esta imparte flexibilidad y dureza a la matriz polimérica, siendo la única más reactiva que las otras polieteraminas con series D, T y ED. Se aplica como agente de curado para las resinas epóxicas y como monómero en las poliamidas, algunas de las ventajas son las de curado a temperatura ambiente o de rápido curado si se incrementa esta última condición, excelente resistencia al choque térmico (17).

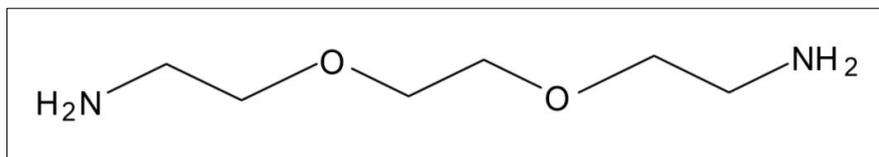


FIGURA 2.9. ESTRUCTURA QUÍMICA DE EDR-148 (17)

JEFFAMINE EDR-176.- esta polieteramina es una diamina reactiva de bajo peso molecular relativamente hablando, esta provee una rapidez de curado moderada, con buenas propiedades mecánicas y una excelente resistencia al impacto y choque térmico, se puede usar inclusive en la poliamidas para modificar la hidrofiliidad y mejorar las propiedades antiestáticas, la mismas que posee una mayor reactividad que el resto de las *JEFFAMINE* polieteraminas (18).

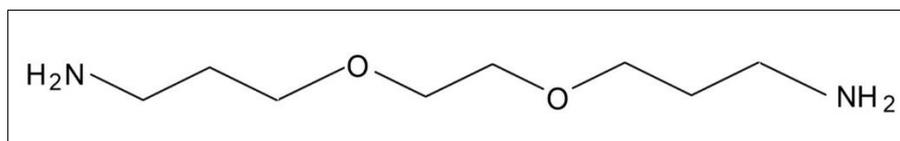


FIGURA 2.10. ESTRUCTURA QUÍMICA DE EDR-176 (19)

JEFFAMINE D-230.- esta polieteramina se caracteriza por replicar unidades de oxipropileno en su cadena principal, esta polieteramina tiene propiedad difuncional por tener dos aminas primarias, posee un peso molecular de 230, el par de aminas primarias se ubican en los átomos de carbonos secundarios

localizados en los extremos de la cadena del políeter alifático, se aplica como agente de curado para las resinas epóxicas, en reacciones con ácidos carboxílicos para formar adhesivos junto con los isocianatos para reacciones rápidas, en sales para formar surfactantes fácilmente, como ventajas se tiene su baja viscosidad, baja presión de vapor, imparte dureza, resistencia a impactos para recubrimientos, fundiciones y adhesivos (20).

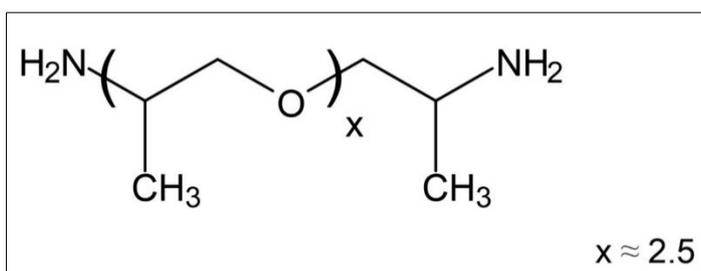


FIGURA 2.11. ESTRUCTURA QUÍMICA DE D-230 (20)

JEFFAMINE T-403.- esta polieteramina se caracteriza por replicar unidades de oxipropileno en su cadena principal, esta polieteramina tiene propiedad trifuncional por tener tres aminas primarias, posee un peso molecular de 440, este grupo de aminas primarias se ubican en los átomos de carbonos secundarios al final de la cadena del políeter alifático, se aplica como agente de curado para las resinas epóxicas, como agente anti flexión en los poliuretanos, como ventajas posee baja presión de vapor, miscible en agua y solventes, mejora fuerza y flexibilidad (21).

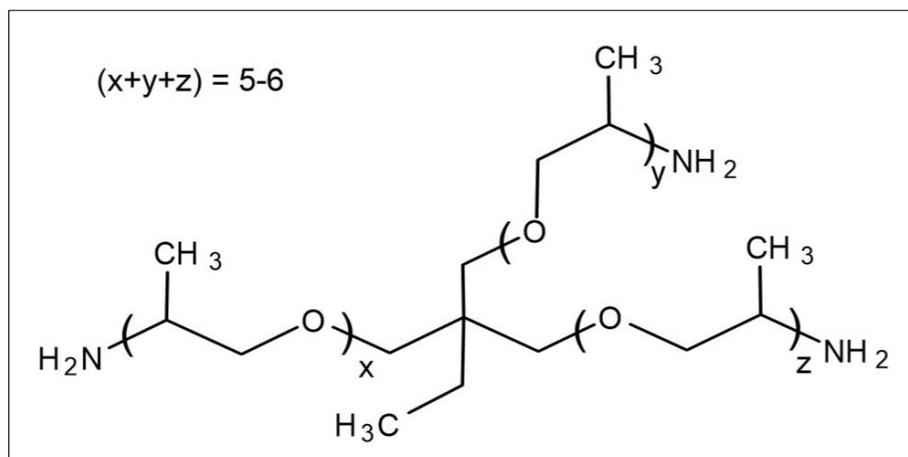


FIGURA 2.12. ESTRUCTURA QUÍMICA DE T-403 (21)

TETA Trietilenotetramina.- es una mezcla de cuatro compuestos de etilenoaminas con estrechos puntos de ebullición que incluyen moléculas del tipo lineal, ramificada y dos cíclicas. Estos compuestos se describen así: TETA (N, N'-bis (2-aminoetil)-1,2-etanodiamina), bis AEP (N, N'-bis-(2-aminoetil) piperazina), PEEDA (N-[(2-aminoetil) 2-aminoetil] piperazina), ramificada TETA (Tris-(2-aminoetil) amina), se puede aplicar como aditivo en asfalto, en inhibidores de corrosión, como agente de curado epóxico, en la purificación de hidrocarburos, como aditivos en aceite lubricante y combustible, como ayuda en procesos minerales, en resinas poliamidas, surfactantes y aditivos textiles (22).

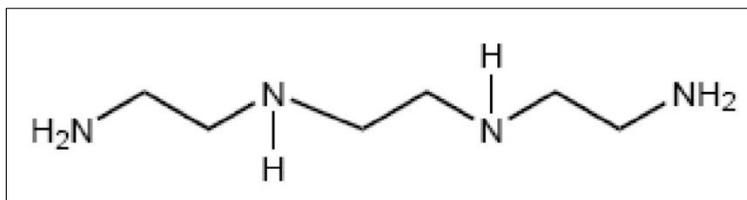


FIGURA 2.13. ESTRUCTURA QUÍMICA DE TETA (22)

TEPA Tetraetilenopentamina.- es principalmente una mezcla de cuatro compuestos de etilenoaminas con estrechos puntos de ebullición que incluyen moléculas del tipo lineal, ramificada y dos cíclicas, con un peso molecular más alto. Estos compuestos se describen así: TEPA (N-(2-aminoetil)-N'-[2-[(2-aminoetil) amino] etil]-1, 2-etanodiamina), AETETA (4-(2-aminoetil)-N-(2-aminoetil)-N'-[2-[(2-aminoetil) amino] etil]-1, 2-etanodiamina), APEEDA (1-(2-aminoetil)-4-[(2-aminoetil) amino] etil]-piperazina), PEDETA (1-[2-[[2-aminoetil) amina] etil]-amino]etil]-piperazina), se puede aplicar como aditivo en asfalto, en inhibidores de corrosión, como agente de curado epóxico, en la purificación de hidrocarburos, como aditivos en aceite lubricante y combustible, como ayuda en procesos minerales, en resinas poliamidas, surfactantes y aditivos textiles (23).

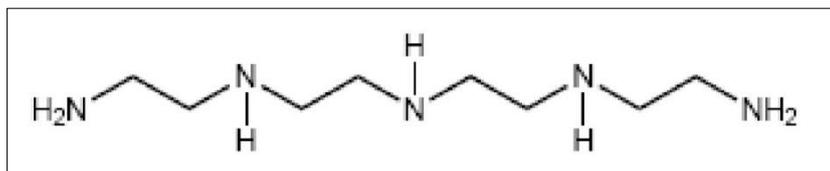


FIGURA 2.14. ESTRUCTURA QUÍMICA DE TEPA (23)

Resinas Epóxicas.- son una familia de materiales termoestables poliméricos que no generan productos de reacción durante el curado o entrecruzamiento, por ello tienen poca contracción al curar, estas se caracterizan por tener dos o más grupos de epóxicos por molécula con una estructura química mostrada en la figura 2.15, poseen una buena adhesión sobre los materiales, buena resistencia química y ambiental, buenas propiedades mecánicas y de aislamiento eléctrico. Estos para formar materiales sólidos termoestables deben ser mezclados estequiométricamente con los agentes de curado, entrecruzamiento y catalizadores. Los grupos epóxicos e hidroxilo son los precursores de la reacción para el entrecruzamiento, para obtener el curado a temperatura ambiente se emplean las aminas, la gran reactividad de los grupos epóxicos con las aminas proporcionan un alto grado de entrecruzamiento, aumenta la dureza, resistencia mecánica y química (24).

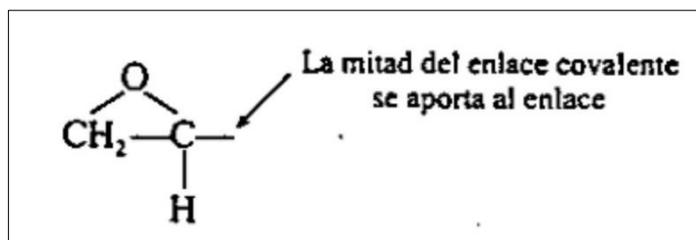


FIGURA 2.15. ESTRUCTURA QUÍMICA DE EPÓXICO (24)

Las resinas empleadas para este proyecto se dividen en dos grupos, el primero pertenece a la familia funcional multi-epóxico de éteres de glicidilo de la serie ERISYS™ GE con monómeros de éter de glicidilo con modificadores funcionales epóxicos, son productos de bajo peso molecular a base de alcoholes, glicoles y fenoles, tres de las resinas empleadas pertenecen a esta familia (25).

El segundo grupo se encuentra la cuarta resina epóxica empleada pertenece a la marca EPON, la cual se describe también como diglicidil éter de bisfenol A, las aplicaciones más comunes es como recubrimiento, adhesivos, ingeniería civil, aislamientos eléctricos y electrónicos, materiales compuestos y fibra de dimensionamiento (26).

A continuación se enuncian y describen en breves rasgos las resinas epóxicas empleadas para este proyecto, los cuales son:

- ERISYS™ GE-38
- ERISYS™ GE-40
- ERISYS™ GE-60
- EPON™ Resin 828

ERISYS™ GE-38.- esta resina epoxidado de poliglicerol de viscosidad media con triepoxido alifático, compatible con la mayoría de las resinas epóxicas en todas las concentraciones y pueden ser curadas con cualquier agente de curado para resinas epóxicas, las aplicaciones van desde formar reticulado en resinas de ácido funcional, diluyente reactivo para adhesivos, recubrimientos, envasamiento y encapsulación, composiciones de fibra de carbón, en hidrogeles súper elásticos, en la preparación de membranas de osmosis inversa con alta resistencia a la contaminación, tejidos antimicrobianos, preparación de polímeros porosos para el uso de filtros con aplicaciones biológicas (27).

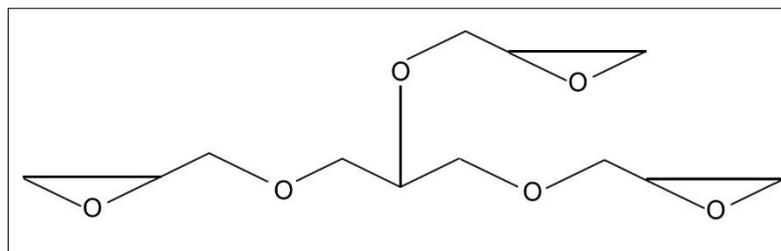


FIGURA 2.16. ESTRUCTURA QUÍMICA DE GE-38 (28)

ERISYS™ GE-40.- esta resina epoxidado de pentaeritrilo de viscosidad media con tetraepoxido alifático, compatible con la mayoría de las resinas epóxicas estándar en todas las concentraciones y puede ser curada con cualquier agente de curado para resinas epóxicas, las aplicaciones van desde formar reticulado en resinas de ácido funcional, diluyente reactivo para adhesivos, recubrimientos, envasamiento y encapsulación, composiciones de fibra de carbón, en la preparación de polímeros microporosos para membranas y en fotoresistores (29).

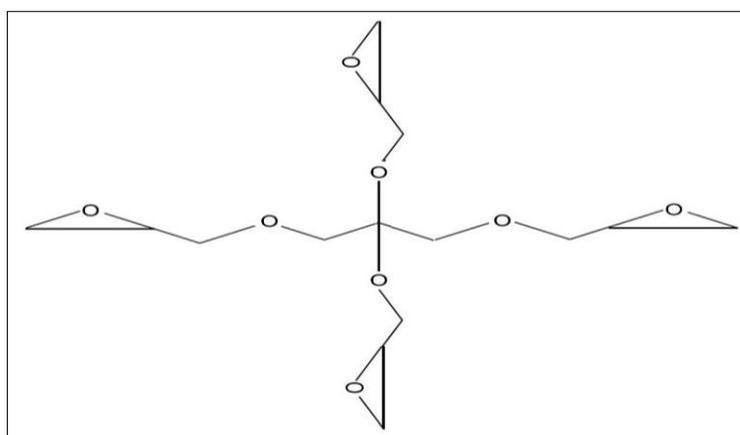


FIGURA 2.17. ESTRUCTURA QUÍMICA DE GE-40 (28)

ERISYS™ GE-60.- esta resina epoxidado de sorbitol, es una resina epóxica alifática multifuncional, imparte una alta reactividad y densidad reticular, adicionalmente puede ser usada en el reticulado de resinas acidas funcionales de poliuretano y resinas acrílicas, para mejorar la resistencia química de los recubrimientos estables a la luz, acelerador de resinas epóxicas (30).

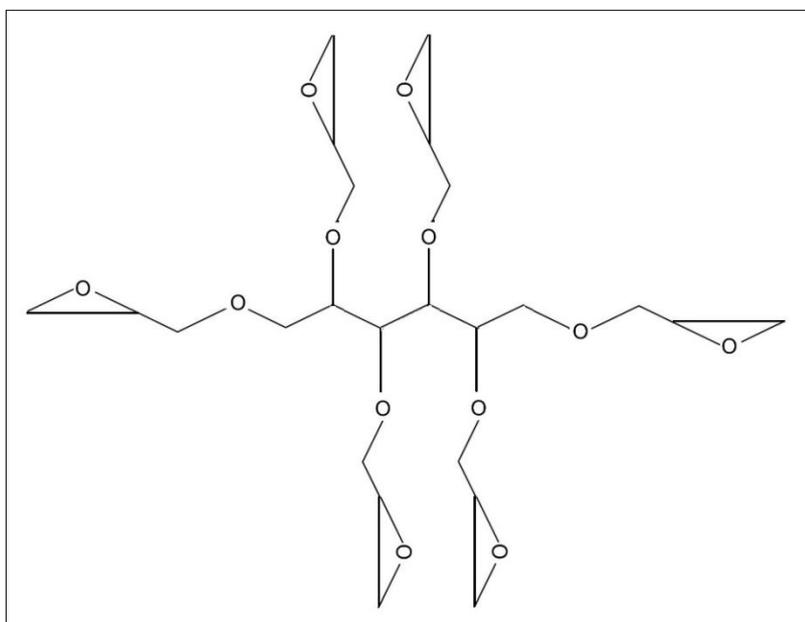


FIGURA 2.18. ESTRUCTURA QUÍMICA DE GE-60 (28)

EPON™ Resin 828.- es una resina sin diluir clara de bisfenol A/epiclorhidrina derivado en liquido epóxico, con buenas propiedades mecánicas, adhesivas, dieléctricas y resistencia química, con aplicaciones en el reforzamiento de tuberías con fibra, en herramientas, fundiciones y moldeo de compuestos,

construcciones eléctricas y adhesivos aeroespaciales, alto contenido de sólidos, bajo VOC, en mantenimiento y recubrimientos, en encapsulados y láminas eléctricas, para aumentar la resistencia química en tanques, pisos y morteros para juntas, como resina base para la fusión en sistemas epóxicos (31).

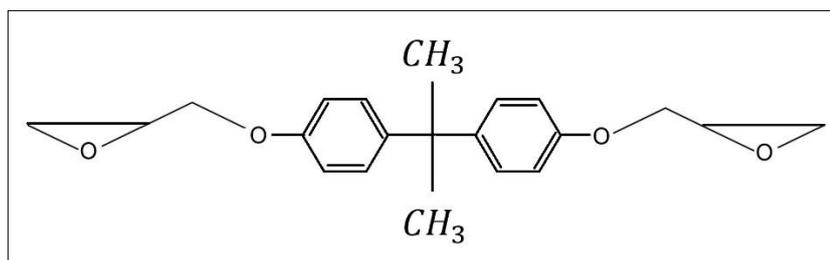


FIGURA 2.19. ESTRUCTURA QUÍMICA DE EPON-828 (32)

Inhibidor de Corrosión.- son compuestos orgánicos derivados de aminas de bajo peso molecular conteniendo dos heteroátomos de nitrógeno y oxígeno, estos pueden actuar formando películas protectoras sobre la superficie metálica o entregan sus electrones al medio, por cuestiones de manipulación se manejan en estado sólido, aunque en estado gaseoso su efectividad es mucho mayor, investigaciones han demostrado que pueden actuar como barrera para la corrosión anódica y catódica, posee al menos dos grupos uno hidrofílico e hidrofóbico, para el caso de las nanoarcillas en el que sus iones de alquiloamonio son los cationes orgánicos para el proceso de intercambio con la montmorillonita, la ausencia de

polaridad facilita aumentar el espaciamiento interlaminar facilitando la difusión (33).

Para el análisis del efecto del inhibidor de corrosión al ser mezclado con las resinas y aminos, se empleó el inhibidor de corrosión conocido como carboxilato de amino RM-210.

Carboxilato de Amino RM-210.- con un aspecto sólido cristalino, este es un inhibidor de corrosión del tipo mixto, debido a que posee un grupo carboxilo y un grupo amino, con la capacidad de brindar protección en tres modos, como interfaz, contacto y vapor. Se ha empleado en pinturas, desengrasantes, fundas plásticas, limpiadores para metales (34), su estructura molecular se muestra en la figura 2.20.

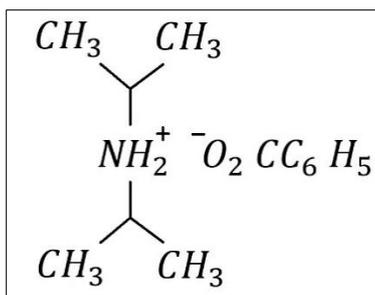


FIGURA 2.20 ESTRUCTURA QUÍMICA DE RM-210 (35)

2.2 Asentamiento de Nanoarcilla en Resinas Epóxicas y Aminas Mediante Método Físico.

Este ensayo se basó en el asentamiento por gravedad de la nanoarcilla cloisite 93A en cuatro aminas escogidas específicamente para esta pruebas, estas son las pertenecientes al grupo de las polieteramias como la EDR-176, EDR-148, D-230 y la cuarta la TETA perteneciente al grupo de las etilenoaminas, como medios líquidos de comparación contra este grupo de aminas se escogieron dos aceites, el de silicón y mineral junto con un solvente que fue el tolueno, se agregó el 5% del peso total en arcilla, se colocaron 10ml en volumen de la mezcla entre la arcilla y cada una de las sustancias empleadas como medio líquido en tubos de ensayo de 15ml de capacidad, luego se monitoreó el asentamiento con el tiempo por cada 0.5ml de volumen de arcilla desplazado hasta bajar a los 7ml.

Cuando una sustancia sólida se suspende en un medio líquido sin perturbaciones exteriores, se puede aplicar el criterio de la velocidad terminal, cuyo comportamiento hidrodinámico se modela basándose en una esfera pequeña moviéndose en un recipiente con el líquido de análisis, este recipiente posee un diámetro muy grande comparado al de la esfera, los pesos específicos del medio líquido y la esfera deben ser cercanos resultando este último el que

se aproxime al valor del peso específico del líquido. Siendo así la esfera alcanzará una pequeña velocidad constante hacia abajo, por su puesto luego de transcurrir un tiempo al estar suspendida en el líquido, la esfera al estar en estas condiciones aplica para el criterio de flujo progresivo, según Stokes la fuerza de arrastre que experimenta la esfera es proporcional a la velocidad terminal y el radio. Al alcanzar una velocidad estable o constante la sumatoria de fuerzas (peso, arrastre, empuje) según Newton equivalen a cero por lo que de esta expresión se puede obtener el diámetro hidrodinámico, empleando los tiempos y distancias de desplazamiento de la arcilla, registrados en este ensayo (36).

A continuación se expresan las ecuaciones empleadas para el procesamiento de los datos obtenidos durante este ensayo, así se tiene:



FIGURA 2.21. DIAGRAMA DE FUERZAS SOBRE ESFERA

En donde:

- Fuerza de arrastre para esfera de radio R: $F_d = 6\pi\mu_l V_t R$
- Peso de la esfera de radio R: $W_s = \rho_s \frac{4}{3} \pi R^3 g$
- Empuje sobre la esfera de radio R: $E_s = \rho_l \frac{4}{3} \pi R^3 g$
- Sumatoria de fuerzas sin aceleración: $0 = W_s - E_s - F_d$

Reemplazando ecuaciones:

$$\rho_s \frac{4}{3} \pi R^3 g - \rho_l \frac{4}{3} \pi R^3 g - 6\pi\mu_l V_t R = 0$$

Agrupando términos:

$$\frac{4}{3} \pi R^3 g (\rho_s - \rho_l) = 6\pi\mu_l V_t R$$

Simplificando términos:

$$R^2 = \frac{4.5\mu_l V_t}{g(\rho_s - \rho_l)}$$

La velocidad terminal equivale a la división entre la distancia (h) y tiempo de desplazamiento (t) de la arcilla obtenida durante el asentamiento visual: $V_t = \frac{h}{t}$

Despejando el diámetro hidrodinámico D_h :

$$D_h = 2 * \sqrt{\frac{4.5\mu_l h}{g(\rho_s - \rho_l)t}}$$

Los términos de esta ecuación representan estos parámetros:

μ_l : Viscosidad dinámica del líquido en $[Pa * seg]$.

h : Altura de arcilla desplazada en un tiempo determinado en $[m]$.

g : Aceleración de la gravedad a nivel del mar en $[m/seg^2]$.

ρ_s : Densidad de la partícula o esfera precipitándose en $[kg/m^3]$.

ρ_l : Densidad del fluido empleado como medio líquido en $[kg/m^3]$.

t : Tiempo en el que la arcilla se desplazó cierta distancia en $[seg]$.

Los valores obtenidos a partir del cálculo con esta ecuación son muy pequeños para ser expresados en metros por lo que se los expresó en micrómetros, es de esta forma que se emplearon los tiempos y distancias de desplazamiento para calcular la velocidad de asentamiento y el diámetro hidráulico, empleados como indicadores de compatibilidad expresados en los capítulos posteriores de este trabajo. (Ver APÉNDICE A).



**FIGURA 2.22. SOPORTE CON TUBO DE ENSAYO PARA
ASENTAMIENTO VISUAL**

2.3 Dispersión de Nanoarcilla en Resinas Epóxicas y Aminas Mediante Difractometría de Rayos X (XRD) y Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).

Estos ensayos requirieron de dos equipos para efectuar la caracterización, para el primer grupo de mezclas, realizadas entre las tres nanoarcillas cloisite 20A, 93A, 30B, con las cuatro resinas GE-38, GE-40, GE-60, EPON-828, y las seis aminas EDR-148,

EDR-176, D-230, T-403, TETA, TEPA, con el XRD en el que se agregaron un 20% en masa de las tres nanoarcillas del peso total.

La caracterización de las 43 muestras permitió obtener los espaciamientos basales entre las láminas de los silicatos de la arcilla asociados con la amina primaria, realizado un barrido angular de la muestra comprendida entre 1° - 9° se obtuvieron los picos de absorbancia que aumentaron o disminuyeron su amplitud dependiendo de la muestra, por medio del programa X'PERT DATA COLLECTOR que sirve como interfaz entre el Difractometro y el computador se obtuvieron las figuras correspondientes a los picos de las difracciones, cuyas amplitudes y ángulos de difracción se obtuvieron con el programa X'PERT HIGHSCORE PLUS.



**FIGURA 2.23. PORTAMUESTRA DE LÍQUIDOS Y POLVOS
PARA DIFRACTOMETRÍA EN EL XRD**

Para la segunda parte de muestras, las mismas que se obtuvieron a partir de la mezcla entre la C93A con las aminas, aceites y solvente descritos en la sección 2.2, fueron caracterizadas con el FTIR agregándose un 5% en masa de la C93A del peso total a las muestras analizadas.

La caracterización de las siete muestras permitió monitorear mediante el método Mid-IR con un rango entre $4000-650\text{ cm}^{-1}$, los cambios de concentración en ciertas bandas características para la amina primaria ($3700-3000\text{ cm}^{-1}$), reflejada por picos de absorbancia que aumentaron su amplitud conforme pasaba el tiempo en el que la nanoarcilla C93A se asentaba, por medio del programa SPECTRUM que sirve como interfaz entre el Espectrómetro y el computador se obtuvieron las figuras de los picos de absorbancia y longitudes de onda, cuyas amplitudes y áreas de pico se obtuvieron con el programa OMINIC.



FIGURA 2.24. PORTAMUESTRA DE LÍQUIDOS PARA ESPECTROMETRÍA MID-IR EN EL FTIR

2.4 Dispersión y Curado de Sistemas Epóxicas-Aminas-Arcilla mediante Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y Difractometría de Rayos X (XRD).

Curado en FTIR.- para el primer grupo se hicieron tres tipos de ensayos:

- **Primer ensayo:** se tienen los sistemas epóxico-amina obtenidos de la mezcla entre la GE-60 con las aminas EDR-148, EDR-176, D-230, T-403, TETA, TEPA, mezclándose estequiométricamente para este primer grupo,
- **Segundo ensayo:** se agregó un 5% en masa arcilla C93A y el 1% en masa de inhibidor de corrosión RM-210 del peso total a dos de los sistemas curados de GE-60 con D-230 y T-403.
- **Tercer ensayo:** se agregó solamente el 1%, 3% y 5% en masa de inhibidor de corrosión del peso total con la resina GE-60, estos tres tipos de sistemas se analizaron con el FTIR.

Con un total de 15 probetas tipo sandwich según la figura 2.25, las cuales se monitorearon mediante el método Near-IR con un rango entre $7500-4000\text{ cm}^{-1}$, para los dos primeros ensayos el análisis se enfocó en la disminución de la concentración de la amina primaria ($5000-4800\text{ cm}^{-1}$) y epóxico ($4600-4500\text{ cm}^{-1}$), mientras que para el tercer ensayo el monitoreo se centró en los picos de absorbancia

correspondientes a la amina primaria alifática (5225 cm^{-1}) y epóxico (4350 cm^{-1}) de la resina GE60, con sus respectivas bandas reflejadas en los picos de absorbancia que disminuyeron su amplitud, conforme pasó el tiempo en el que se curaba el sistema, dichos grupos funcionales contribuyeron en la formación de las aminas secundarias y terciarias. (Ver APÉNDICE B).

Las ecuaciones empleadas para la obtención de los datos de concentraciones y porcentaje de conversión se muestran a continuación.

Para obtener las concentraciones iniciales de las moléculas de amina primaria y epóxico presentes en la amina y resina antes de la reacción se emplearon las siguientes ecuaciones.

Peso molecular de aminas y resinas en función del factor de balance, el peso equivalente y número de mol.

$$MW_{res} = fb_R * EEW * \#mol; MW_{ami} = fb_A * AHEW * \#mol$$

Al mezclarse la amina con resinas se suman los pesos moleculares.

$$MW_{ami+res} = MW_{ami} + MW_{res}$$

Las concentraciones de amina primaria y epóxico de la mezcla son:

$$[AP]_0 = \left(\frac{fb}{MW_{ami+res}} \right) * \#mol; [EP]_0 = \left(\frac{fb}{MW_{ami+res}} \right) * \#mol$$

Las ecuaciones para obtener las concentraciones de la amina primaria ([AP]) y epóxico ([EP]) producto de la reacción se basaron la Ley de Beer Lambert, que relaciona la concentración C (mol/kg) de un compuesto con el espesor L (cm) y constante de absorptividad ε (kg/mol*cm) para esa muestra, el producto de esto tres equivalen al área del pico característico (37), a ese grupo comprendido entre un determinado rango del espectro infrarrojo:

$$A = \log I_0/I = \varepsilon * C * L$$

Reemplazado términos para amina primaria: $[AP]_n = A_n/\varepsilon_A * L_n$

Reemplazando términos para epóxico: $[EP]_n = A_n/\varepsilon_E * L_n$

Donde A_n es el área del pico de absorptividad obtenido en un intervalo de tiempo definido en el FTIR, respectivo para la amina y epóxico.

Para estas ecuaciones fue importante calcular las absorptividades para la amina y resina junto con los espesores para cada tiempo.

$$L_n = (L_0 * A_n)/A_0; \quad \varepsilon_A = A_0/([AP]_0 * L_0); \quad \varepsilon_E = A_0/([EP]_0 * L_0)$$

El espesor descrito se obtiene al igualar áreas de pico de 6000cm^{-1} de longitud de onda ya que este presenta poca variación, de esta manera se obtiene una expresión para el espesor para cada tiempo en función de la longitud inicial y el cociente de las áreas de picos en estos intervalos con el área inicial.

Para las concentraciones de aminas secundarias ([As]), terciarias ([At]) e hidroxilos ([OH]), se emplearon las ecuaciones basados en el análisis de balance de masas (38).

$$[AP]_0 = [AP] - [AS] - [AT]$$

$$[OH] = [AS] + 2[AT]$$

$$[OH] = [EP]_0 - [EP]_n$$

Reemplazando y combinando expresiones se tiene:

$$[AS]_n = 2([AP]_0 - [AP]_n) - ([EP]_0 - [EP]_n)$$

$$[AT]_n = [AP]_0 - [AP]_n - [AS]_n$$

Las ecuaciones que se usó para obtener el porcentaje de conversión de epóxico y amina primaria se muestran a continuación (38).

$$\alpha[AP] = 1 - \frac{AP_n}{AP_0}; \quad \alpha[EP] = 1 - \frac{EP_n}{EP_0}$$

Los subíndices 0 y n denotan el valor inicial y los valores posteriores refiriéndose al orden y cantidad de ensayos realizados durante el monitoreo de ese parámetro de la probeta por 168 horas. (Ver APÉNDICE C).

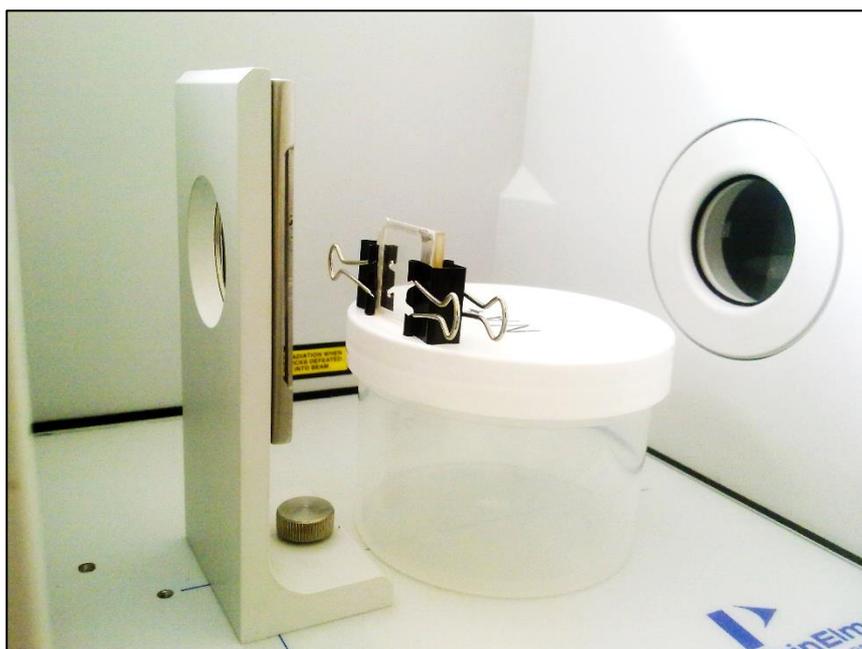


FIGURA 2.25. PORTAMUESTRA DE CURADO PARA ESPECTROMETRÍA NEAR-IR EN EL FTIR

Dispersión en XRD.- para las probetas curadas en forma de disco obtenidas a partir de la mezcla de GE-60 con las aminas EDR-148, EDR-176, TETA, TEPA, y otro grupo de probetas con un 5% en masa de arcilla C93A, se caracterizaron con el equipo XRD. Con un total de ocho probetas, la difracción permitió obtener los

espaciamientos basales entre las láminas de los silicatos de la arcilla que se solidificaron en la matriz de estos sistemas curados, realizando un barrido angular en ambas caras de las probetas, dentro del barrido comprendido entre 1° - 9° se obtuvieron los picos de absorbancia que aumentaron o disminuyeron su amplitud dependiendo de la muestra y superficie de escaneo.

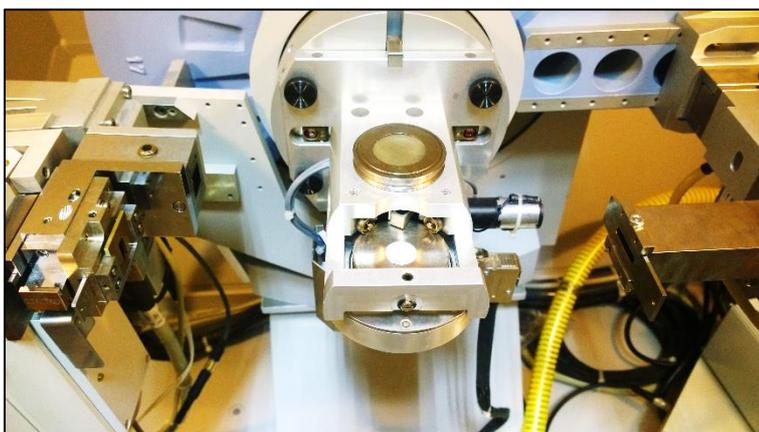


FIGURA 2.26. PORTAMUESTRA DE DISCO CURADO PARA DIFRACTOMETRÍA EN EL XRD

2.5 Ensayos de Propiedades Mecánicas y Ópticas de Nanocompuestos.

Ensayo de Tensión.- se empleó para evaluar las propiedades mecánicas de un material sólido, bajo el cual se aplicó cargas de estiramiento axial a cada extremo de la probeta sujeta, los datos obtenidos de cada ensayo se usan para determinar el

comportamiento del esfuerzo de tensión, módulo elástico, esfuerzo de rotura, deformación y energía de rotura.

Las probetas curadas durante siete días bajo condiciones de temperatura y humedad controladas, en moldes obtenidos a partir de plantillas normalizadas troqueladas bajo la norma ASTM D256-B, fueron previamente medidas tres veces en tramos diferentes a lo largo de sus longitudes para establecer valores intermedios para el espesor y anchura, se realizó el respectivo rayado de cada probeta para que sea sujeta de manera alineada con los mandriles de la máquina de ensayos junto con las medidas promedio de ancho y espesor para ser empleados en la configuración de este ensayo de tensión, con la ayuda del programa TRAPEZIUM2 que sirve como interfaz entre la Máquina de Ensayos Universales (MEU) y la computadora, se obtuvieron las figuras de esfuerzo vs deformación así como los valores correspondientes a las propiedades mecánicas mencionadas que fueron configuradas en dicho programa previo al ensayo para ser tabuladas y presentadas de manera automática. Se emplearon los datos de las propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de tensión similar al descrito anteriormente pero con probetas a base de la mezcla GE60 con D-230 y T-403 con arcilla C93A de una tesis cuyo análisis consideró a estas dos aminas (39).

Los valores de dureza SHORE mostrados fueron obtenidos de una tesis cuyo análisis se centró en estos seis sistemas epóxicos mezclados y curados bajo el mismo procedimiento (40).

Se usó como guía de procedimiento la norma ASTM D882-12 que establece el método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico delgada hasta un milímetro de espesor.



**FIGURA 2.27. ALINEACIÓN DE MANDRILES DE SUJECCIÓN
PARA PROBETAS**

Ensayo de Microscopía.- se aplicó para determinar el grado de dispersión de la nanoarcilla en los sistemas curados provenientes de las probetas empleadas en el ensayo de tensión mecánica

descrito en los párrafos anteriores, para el análisis visual se escogieron las figuras grabadas con magnificaciones de 450x que permitió ver hasta un tamaño de 200 micras y el de 2340x con un tamaño de observación de 50 micras. Se escogió como superficie la obtenida después de que las probetas se fracturaron debido a la tensión, estas probetas tuvieron que recubrirse con platino para impregnar una capa de átomos de platino conductores eléctricos para que puedan ser grabados mediante el barrido electrónico que realizó este microscopio empleado.

Los trozos escogidos fueron dos de las probetas que fallaron del ensayo de tensión, las mismas que se tuvo que extraer la humedad impregnada por 24 horas en un envase con desecantes para alcanzar una buena capa con el recubridor metálico y así obtener una buena observación de la estructura de la superficie de falla.



FIGURA 2.28. PORTAMUESTRAS DENTRO DE RECUBRIDOR METÁLICO DE PLATINO

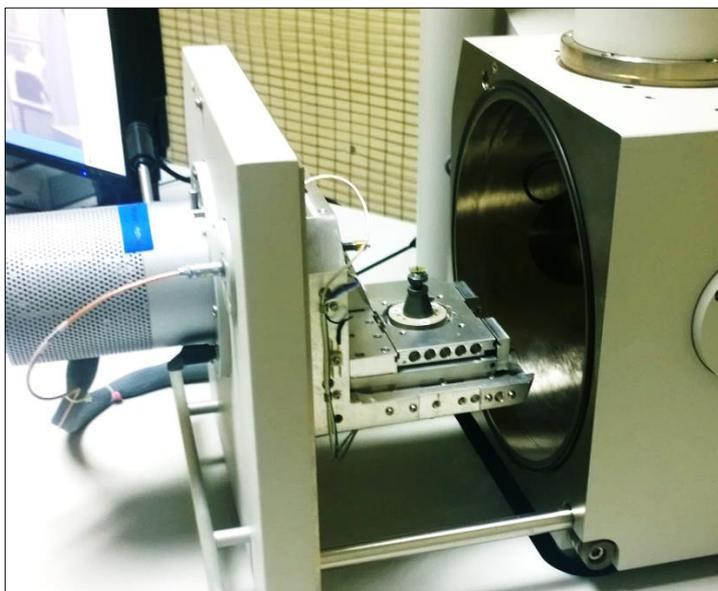


FIGURA 2.29. PORTAMUESTRA DENTRO DE MICROSCOPIO DE BARRIDO ELECTRÓNICO

CAPÍTULO 3

3. PARTE EXPERIMENTAL.

3.1 Materiales, Herramientas y Equipos.

A continuación se enuncian y muestran los principales materiales, insumos, herramientas y equipos con su respectiva figura empleados para el desarrollo práctico de este proyecto.

Se agrupan de la siguiente manera: Materiales, insumos, herramientas y equipos.

Materiales.- en esta parte se encasilla a la materia prima que tuvo que ser procesada para que cumpla una función específica según el ensayo, así se tienen:

Cloisite 20A.- de origen natural perteneciente a la familia Montmorillonita, modificada con una sal de amonio cuaternaria, molida y tamizada a 20 micras. (Ver APÉNDICE D).

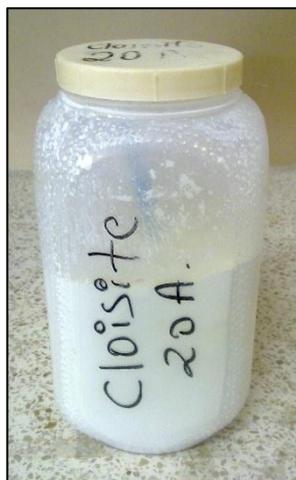


FIGURA 3.1. CLOISITE 20A

Cloisite 93A.- de origen natural perteneciente a la familia Montmorillonita, modificada con una sal de amonio ternaria, molida y tamizada a 20 micras. (Ver APÉNDICE E).



FIGURA 3.2. CLOISITE 93A

Cloisite 30B.- de origen natural perteneciente a la familia Montmorillonita, modificada con una sal de amonio cuaternaria, molida y tamizada a 20 micras. (Ver APÉNDICE F).



FIGURA 3.3. CLOISITE 30B

Carboxilato de Amina RM210.- inhibidor de corrosión volátil mixto (aniónico y catiónico) debido a su composición, con estructura sólida cristalina, molida y tamizada a 20 micras.



FIGURA 3.4. CARBOXILATO DE AMINA RM-210

Jeffamine EDR-148.- perteneciente al grupo de las polieteraminas posee dos aminas simétricas sin obstáculos. (Ver APÉNDICE G).



FIGURA 3.5. JEFFAMINE EDR-148

Jeffamine EDR-176.- perteneciente al grupo de las polieteraminas, esta diamina es de bajo peso molecular muy reactiva debido a su rapidez de curado. (Ver APÉNDICE H).



FIGURA 3.6. JEFFAMINE EDR-176

Jeffamine D-230.- perteneciente al grupo de las polieteraminas, posee una amina difuncional. (Ver APÉNDICE I).



FIGURA 3.7. JEFFAMINE D-230

Jeffamine T-403.- perteneciente al grupo de las polieteraminas, posee una amina trifuncional. (Ver APÉNDICE J).



FIGURA 3.8. JEFFAMINE T-403

Trietilenotetramina TETA.- resulta de la combinación de cuatro etilenaminas TETA, una de moléculas lineal, ramificada y dos cíclicas, con puntos de ebullición similares. (Ver APÉNDICE K).



FIGURA 3.9. TRIETILENOTETRAMINA TETA

Tetraetilenopentamina TEPA.- resulta de la combinación de cuatro etilenaminas TEPA, una de moléculas lineal, ramificada y dos cíclicas, con pesos moleculares altos. (Ver APÉNDICE L).

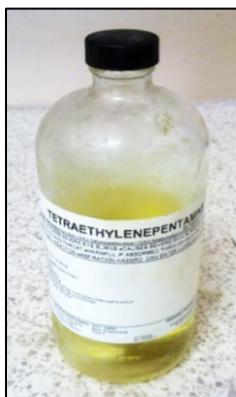


FIGURA 3.10. TETRAETILENOPENTAMINA TEPA

Resina Epóxica GE-38.- perteneciente al grupo de los poligliceroles epoxidados de viscosidad media posee tres epóxicos alifáticos, compatible con la mayoría de resinas epóxicas estándares. (Ver APÉNDICE M).

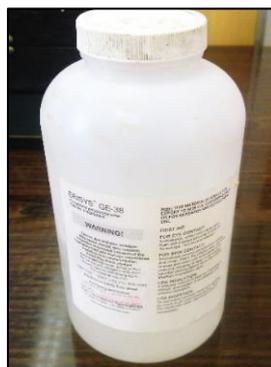


FIGURA 3.11. RESINA EPÓXICA GE-38

Resina Epóxica GE-40.- perteneciente al grupo de los pentaeritritoles epoxidados de viscosidad media posee cuatro epóxicos alifáticos, compatible con la mayoría de resinas epóxicas estándares. (Ver APÉNDICE N).



FIGURA 3.12. RESINA EPÓXICA GE-40

Resina Epóxica GE-60.- perteneciente al grupo de los sorbitoles epoxidados, es una resina epóxica multifuncional de carácter alifático. (Ver APÉNDICE Ñ).



FIGURA 3.13. RESINA EPÓXICA GE-60

Resina Epon 828.- es un bisfenol difuncional A/epiclorhidrina sin diluir derivado de la resina epóxica líquida. (Ver APÉNDICE O).



FIGURA 3.14. RESINA EPON-828

Tolueno.- es un hidrocarburo aromático líquido, se obtiene a partir de la destilación fraccionada del alquitrán de hulla.

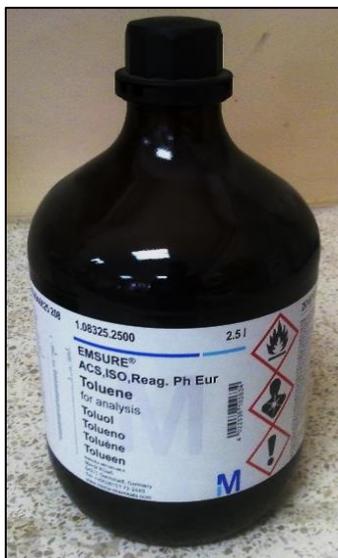


FIGURA 3.15. TOLUENO

Aceite Mineral.- está compuesto principalmente por parafina líquida, acetato tocoferol y fragancia.



FIGURA 3.16. ACEITE MINERAL

Aceite de Silicón.- es un líquido ligero organosulfurado transparente compuesto por amino funcional de polidimetil siloxano.



FIGURA 3.17. ACEITE DE SILICÓN

Silicón Alimenticio.- está conformado por dos compuestos que al mezclarse a temperatura ambiente produce un reticulado en su estructura volviéndolo un material flexible y elástico.



FIGURA 3.18. SILICÓN ALIMENTICIO

Insumos.- Son los consumibles y materiales que se usaron una sola vez para cada ensayo así se tienen:

Envase de Mezclado.- estos envases de 15ml de capacidad se emplearon para contener y mezclar las distintas muestras analizadas en este proyecto.



FIGURA 3.19. ENVASE DE MEZCLADO

Guantes de Látex.- empleados como protección para evitar el contacto directo de estas sustancias con la piel, son de versátil manipulación.



FIGURA 3.20. GUANTES DE LÁTEX

Mascarilla Protectora.- para proteger las vías nasal y bucal de posibles inhalaciones de vapores o material particulado generados por estas sustancias.



FIGURA 3.21. MASCARILLA PROTECTORA

Paño Desechable.- para la limpieza de los instrumentos reutilizables empleados para el pesaje y como portamuestras.



FIGURA 3.22. PAÑO DESECHABLE

Pipeta Desechable.- se empleó para la recolección de muestras líquidas con capacidad de hasta 10ml.



FIGURA 3.23. PIPETA DESECHABLE

Tubo de Ensayo.- empleado como portamuestra para el ensayo de asentamiento con una capacidad de 15ml.



FIGURA 3.24. TUBO DE ENSAYO

Acetona.- utilizado como agente de limpieza para los instrumentos reutilizables que sirvieron para la manipulación de las muestras.



FIGURA 3.25. ACETONA

Alcohol Isopropílico.- se utilizó para la limpieza específica del cilindro de vidrio de la cámara de vacío del recubridor metálico.



FIGURA 3.26. ALCOHOL ISOPROPÍLICO

Desecante.- es un agente químico granulado para absorber la humedad en un medio controlado.

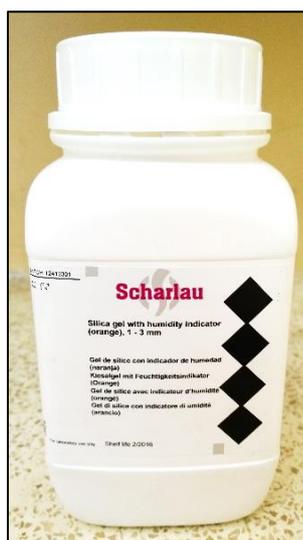


FIGURA 3.27. DESECANTE

Vidrio para Microscopía.- este elemento fue empleado para contener las muestras analizadas en el FTIR, se presionaban por dos binchas de metal.



FIGURA 3.28. VIDRIO PARA MICROSCOPIA

Lámina de Caucho.- utilizado como espaciador y contenedor de las muestras analizadas en el FTIR, se presionaban por dos binchas de metal

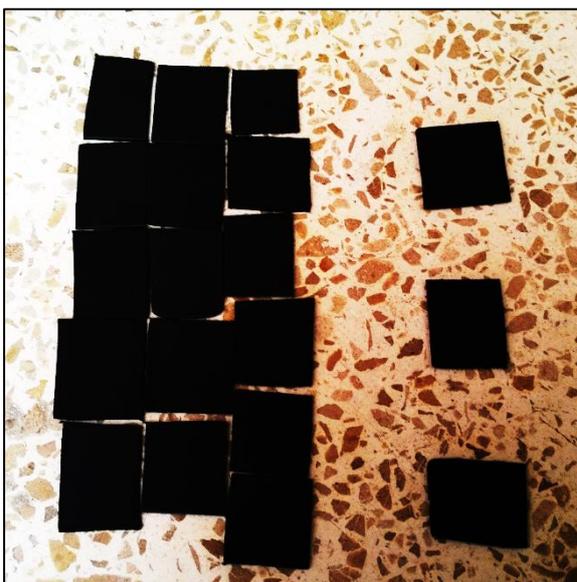


FIGURA 3.29. LÁMINA DE CAUCHO

Plancha de Polipropileno.- se usó como plantilla para obtener el volumen y forma de las probetas normalizadas para el ensayo de tensión.

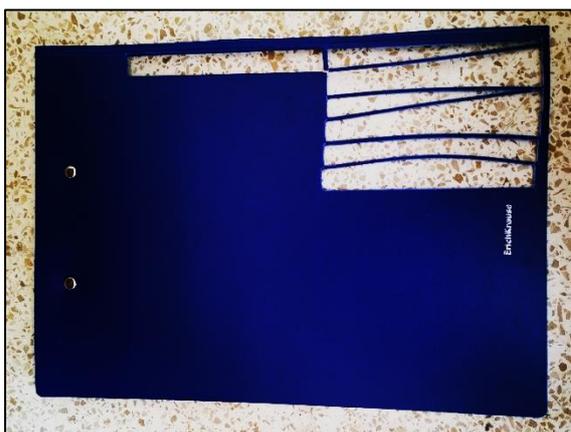


FIGURA 3.30. PLANCHA DE POLIPROPILENO

Lámina de Polipropileno.- fue empleada como interfaz entre el envase metálico y el silicón alimenticio para fundir los moldes para las probetas de tensión.

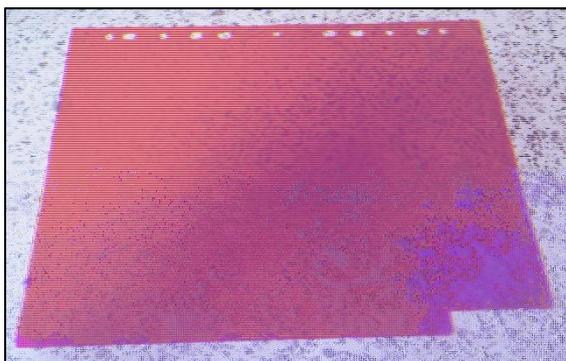


FIGURA 3.31. LÁMINA DE POLIPROPILENO

Rodela Metálica.- se usó como plantilla para obtener el volumen y forma circular de los discos para el ensayo con el XRD.



FIGURA 3.32. RODELA METÁLICA

Herramientas.- como herramientas importantes se mencionan las que hicieron posible la manipulación de los materiales ya mencionados, y son:

Espátula Doble.- de acero inoxidable, posee dos paletas curvas una en cada extremo, se usó para el pesaje de las nanoarcillas e inhibidor.



FIGURA 3.33. ESPÁTULA DOBLE

Paleta Plana.- posee un mango para sujetar con una paleta de acero inoxidable, se usó para la extracción de los moldes de silicón.



FIGURA 3.34. PALETA PLANA

Cuchara Doble.- de acero inoxidable, posee dos paletas cuencos una en cada extremo, se usó para el pesaje de masas de las resinas.

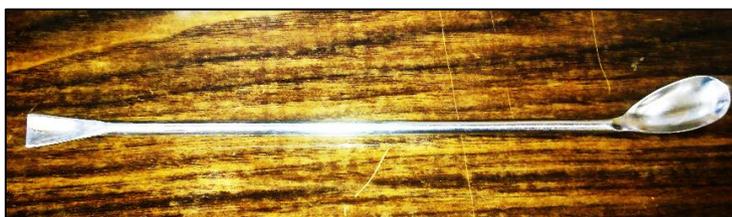


FIGURA 3.35. CUCHARA DOBLE

Estilete.- se empleó para eliminar las rebabas de los moldes de silicón curados y cortar las láminas de caucho para los portamuestras en el FTIR.



FIGURA 3.36. ESTILETE

Tijera.- fue utilizada para cortar las láminas de polipropileno que se emplearon para fundir los moldes de silicón alimenticio y evitar que se pegue para una fácil extracción.



FIGURA 3.37. TIJERA

Molde para Silicón.- sirvió como contenedor para el curado del silicón alimenticio junto con las platillas de polietileno para las probetas de tensión.



FIGURA 3.38. MOLDE PARA SILICÓN

Envase de Plataforma.- se colocó como base para nivelar el eje imaginario central del espejo emisor con el centro de la portamuestra elaborado para el ensayo de curado en el FTIR.



FIGURA 3.39. ENVASE DE PLATAFORMA

Envase Hermético.- se empleó como cámara hermética con baja humedad para efectuar el curado de las probetas para tensión y los discos para difracción de rayos x.



FIGURA 3.40. ENVASE HERMÉTICO

Placa Metálica.- se usó como regla para realizar los cortes del vidrio y la lámina de caucho ambos empleados para el ensayo de curado en el FTIR.



FIGURA 3.41. PLACA METÁLICA

Corta Vidrio.- fue empleado para realizar los cortes del vidrio empleado para el portamuestra analizado en el ensayo de curado en el FTIR.



FIGURA 3.42. CORTA VIDRIO

Bincha Metálica.- se usó como medio de sujeción para mantener juntas las dos placas de vidrio junto con la lámina de caucho para formar la portamuestra para el ensayo de curado en el FTIR.



FIGURA 3.43. BINCHA METÁLICA

Regla Metálica.- se escogió para el rayado de las probetas curadas de tensión para facilitar la colocación y sujeción en la máquina de ensayos universal.



FIGURA 3.44. REGLA METÁLICA

Marcador.- sirvió para marcar las probetas curadas de tensión para facilitar la colocación y sujeción en la máquina de ensayos universal.



FIGURA 3.45. MARCADOR

Soporte Metálico.- este sujetó los tubos de ensayos con las muestras para el ensayo de asentamiento.



FIGURA 3.46. SOPORTE METÁLICO

Equipos.- en esta sección se ubican a todos los equipos o maquinas empleados para el procesamiento y caracterización de las muestras analizadas en este proyecto, así se tiene:

Sorbona.- este equipo de extracción protege al usuario de inhalaciones de material particulado y vapores provenientes de las muestras al momento de ser pesadas.



FIGURA 3.47. SORBONA

Mezclador Centrífugo.- permitió el rápido mezclado de las resinas, aminos y organoarcillas gracias a la fuerza centrífuga producida por la rotación.



FIGURA 3.48. MEZCLADOR CENTRÍFUGO

Horno Eléctrico.- se empleó para tratar térmicamente el inhibidor junto con la cloisite 93A para lograr una mezcla homogénea, y acelerar el curado de los moldes de silicón.



FIGURA 3.49. HORNO ELÉCTRICO

Balanza Digital Max 210g-d 0.001g.- con esta balanza se realizó un adecuado pesaje de masas tanto resinas, aminas, nanoarcillas como inhibidor gracias a la resolución de un milésimo de gramo.



FIGURA 3.50. BALANZA DIGITAL MAX 210G-D 0.001G

Balanza Digital Max 3100g-d 0.1g.- con esta balanza se realizó el pesaje del silicón alimenticio y el agente curador previo a la mezcla y vertido, la masa total fue de 125g.



FIGURA 3.51. BALANZA DIGITAL MAX 3100G-D 0.1G

Cámara de Vacío.- formado por una bomba de vacío y una cámara traslúcida con desecante para asegurar un ambiente seco y de baja presión, para extraer todo el aire de las muestras.



FIGURA 3.52. CÁMARA DE VACÍO

Deshumidificador de Aire.- con este equipo se controlaba la humedad relativa del ambiente de síntesis, manteniéndola siempre alrededor de 50%.



FIGURA 3.53. DESHUMIDIFICADOR DE AIRE

Higrómetro.- este equipo digital permitía registrar los datos de temperatura y humedad del laboratorio en tiempo real.



FIGURA 3.54. HIGRÓMETRO

Espectrofotómetro de Rayos Infrarrojos (FTIR)- emite un espectro infrarrojo, el mismo que atraviesa la muestra e interactúa con los enlaces moleculares, mostrando en pantalla la intensidad de ese enlace con la respectiva longitud de onda.



FIGURA 3.55. ESPECTROFOTÓMETRO INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Difractometro de Rayos X (XRD).- emite un espectro de rayos X, el mismo que atraviesa la muestra e interactúa con los espacios basales de los silicatos presentes en las organoarcillas, mostrando en pantalla la intensidad de la absorción de energía.



FIGURA 3.56. DIFRACTOMETRO DE RAYOS X (XRD)

Máquina de Ensayos Universal.- este equipo con una capacidad de 10kN, permitió obtener el modulo elástico de las probetas.



FIGURA 3.57. MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSAL

Troquelador.- con este equipo se troquelaron las plantillas de poliuretano que se emplearon para los moldes de silicón, gracias al troquel se obtuvieron plantillas estandarizadas.



FIGURA 3.58. TROQUELADOR

Recubridor Metálico de Platino.- realiza un baño de partículas ionizadas de platino con energía eléctrica, depositándose en las muestras de probetas que se analizaron en el SEM



FIGURA 3.59. RECUBRIDOR METÁLICO DE PLATINO

Microscopio de Barrido Electrónico.- este equipo emplea la tecnología del barrido de electrones para visualizar hasta magnificaciones elevadas, para estos análisis se llegó a 2340x alrededor de 50 micras.



FIGURA 3.60. MICROSCOPIO DE BARRIDO ELECTRÓNICO

3.2 Procedimiento y Ensayos para la Obtención de Nanocompuestos de Resinas Epóxicas y Nanoarcillas.

Una vez impartidas las directrices acerca de los pasos a seguir junto con los materiales y equipos, se inició con la preparación o síntesis de las muestras luego se realizó la caracterización con los equipos ya mencionados, cuya preparación y procedimientos se consideran a continuación:

3.2.1. Mezcla de Aminas con Nanoarcilla Cloisite 93A para Monitorear Asentamiento vs Tiempo en el FTIR.

Se analizaron siete muestras cuya preparación y mezclado se describen explícitamente junto con la división en dos partes para la caracterización, una realizada en el ensayo de asentamiento visual con el tubo de ensayo y la otra parte en el ensayo de espectrometría con el FTIR, en ambos ensayos se monitorearon el asentamiento de la arcilla cloisite 93A .

Preparación de Mezcla.

Con ayuda de la balanza de 210g de capacidad se niveló con los dos puntos de apoyos roscados giratorios en la base, luego se puso en cero con el botón TARE, se usó la pipeta plástica para el vertido de los líquidos y la espátula para pesar la C93A, como protección para la manipulación se empleó mandil, guantes, y mascarilla, se escogieron como medios líquidos las aminas D-230, EDR-148, EDR-176, TETA, el solvente tolueno, dos aceites uno mineral y de silicón, la masa empleada fue de 11g considerada como el 100% se añadió el 5% en masa de cloisite 93A, que equivale a 0.55g, ambos componentes se colocaron dentro del envase de mezclado pesados en la balanza, primero se realizó el vertido de los líquidos hasta obtener la masa requerida, con la

espátula se agregó la arcilla hasta el peso correspondiente, ambos componentes se juntaron en el envase de mezclado, en total se hicieron siete mezclas, de cada mezcla resultante se ocuparon 10ml para el ensayo de asentamiento y 1ml para la espectrometría en el FTIR, ver figura 3.63 y 3.64.

Procedimiento de Mezclado.

En el laboratorio de síntesis se realizaron siete mezclas una a la vez con el mezclador speedmixer, para esto se procedió a colocar el envase de mezclado con ambos componentes en el holder o cilindro de soporte que trabaja como accesorio propio del mezclador centrífugo, el envase se aseguró por ajuste y se depositó en el tambor rotatorio del mezclador, el mismo que previamente se encendió y configuró a 2500 rpm durante dos minutos, estos parámetros quedaron fijos para todas las muestras de este ensayo, se inició la rotación con el botón de arranque y gracias a las fuerzas centrífugas producidas se logró la homogenización de cada mezcla.

Una vez realizado estos pasos se desmontó el envase de mezclado y se llevó al laboratorio de reología en donde se encontraba el soporte metálico con el tubo de ensayo junto con el

espectrofotómetro FTIR, este desplazamiento tomó alrededor de dos minutos, para esto el soporte y el FTIR ya estaban previamente listos para realizar el ensayo a partir que se coloque la muestra en el portamuestra, ver figuras 3.65 y 3.66.

Procedimiento para Asentamiento Visual.

En este ensayo se empleó el soporte metálico para sujetar el tubo con la mezcla, se posicionó cerca del espectrofotómetro FTIR ya que ambos monitoreos se ejecutaron simultáneamente, de esta forma minimizar el lapso entre las dos tomas de tiempo en estos dos ensayos, se empleó el reloj de la PC conectada al FTIR, una vez lista la mezcla esta se vertía con la ayuda de la pipeta en dos pasos hasta ocupar los 10ml marcados en el tubo, luego se procedía a tapan el tubo para la interacción de la muestra con el medio externo.

A partir de este instante iniciaba el conteo del tiempo registrando cada vez que la masa de arcilla en suspensión fue desplazándose en el medio líquido 0.5ml dentro del tubo debido a la fuerza de gravedad, se realizó esta acción para las siete muestras fijando como límite el asentamiento hasta los 7ml, en el que se obtuvo un tiempo promedio de tres horas entre las siete muestras.



**FIGURA 3.61. VERTIDO DE MEZCLA EN TUBO DE ENSAYO
PARA ASENTAMIENTO VISUAL**

Procedimiento para Espectrofotometría.

Para este ensayo se usó el equipo de Espectrofotometría Infrarrojo de la Transformada de Fourier FTIR ensamblado con el accesorio para muestras en polvo y líquido, con la ayuda del programa SPECTRUM se obtuvieron las figuras, configurado con los parámetros principales como el escaneo con un espectro de longitud de onda que fue desde los 4000 hasta los 400 cm^{-1} , un

total de cuatro escaneos consecutivos para obtener una figura promedio representativa, enfocándose en el pico de amina primaria comprendido entre $3640-3000\text{ cm}^{-1}$, antes de iniciar cada escaneo se obtuvo la respectiva figura base o background tomada de una placa plana cuyo medio de absorción fue el aire, para tomar el tiempo de asentamiento se usó el reloj de la PC, una vez lista la mezcla esta se vertió con la ayuda de la pipeta, esta se depositó en el portamuestra del equipo, se usó un mililitro.

Con estos pasos se realizaron los siete escaneos fijando los siguientes rangos de tiempos cero, uno, tres, cinco, 10, 15, 20 minutos, después de este lapso transcurrido se escaneó la muestra cada 0.5ml de precipitación de la arcilla, se realizó esta acción para las siete muestras fijando como limite el asentamiento hasta los 7ml, se obtuvieron distintos tipos de asentamientos dependiendo de la viscosidad del medio e inclusive hubo ciertas coincidencias entre el lapso de tiempo de los 20 minutos con el 0.5ml de precipitado de la arcilla, una vez culminado el monitoreo se almacenaron los tubos de ensayos con las muestras en el laboratorio de síntesis.



**FIGURA 3.62. VERTIDO DE MEZCLA EN PORTAMUESTRA
PARA ESPECTROFOTOMETRÍA MID-IR**

**3.2.2. Mezcla de Resinas y Aminas con Nanoarcillas C93A,
C20A, C30B e Inhibidor de Corrosión para Monitorear
Asentamiento vs Tiempo en el XRD.**

Este ensayo se separó en tres partes según los componentes de cada grupo de mezcla, por facilidad de preparación y análisis con el equipo de difracción de rayos X, los tres ensayos compartieron

ciertos parámetros para el escaneo con los rayos X, de esta manera se tiene:

- Asentamiento de seis aminas y cuatro resinas mezcladas con tres nanoarcillas en dos porcentajes de masa.
- Asentamiento de seis aminas y cuatro resinas mezcladas con C93A e inhibidor de corrosión RM210.
- Asentamiento de C93A en el curado de discos a base de GE60 y cuatro aminas.

Asentamiento de Seis Aminas, Cuatro Resinas y Tres Nanoarcillas.

Preparación de Mezcla.

La preparación se inició con el pesaje del grupo de aminas D-230, EDR-148, EDR-176, T-403, TETA, TEPA, siguiendo con el grupo de resinas GE-38, GE-40, GE-60, EPON-828, y finalmente las tres nanoarcillas cloisite 93A, 20A y 30B, como protección se usó mandil, guantes, y mascarilla, se empleó la balanza de 210g correctamente nivelada, para realizar el pesaje de masas se usó la cuchara para las resinas, la espátula para nanoarcillas y la pipeta para las aminas, la masa empleada fue de 2g para las aminas y resinas considerada como el 100%, en primera instancia se añadió

el 10% del total en peso de cloisite 93A y 20A en las aminas D-230 y TETA, lo que equivalió a 0.2g para verificar con el XRD la apreciabilidad de los picos característicos, al no visualizarse bien se aumentó el porcentaje de la nanoarcilla a un 20% con un equivalente de 0.4g, se colocó el envase vacío en la balanza, se puso en cero, a continuación se vertieron las resinas, las aminas en el envase se dejaron listos de tal forma que solo faltó agregar las arcillas, luego se agregó la arcilla para así obtener las 33 mezclas, se ocuparon 2ml de cada muestra porque se realizaron dos escaneos, ver figura 3.63 y 3.64.

Procedimiento de Mezclado.

Estas 33 mezclas se prepararon una a la vez después de cada escaneo, para esto se colocó el envase de mezclado cargado en el holder una vez asegurado se encajó en el cilindro giratorio del speedmixer, se cerró la tapa, se configuró a 2500rpm durante dos minutos, y se dio arranque hasta que la mezcla se homogenice en el tiempo asignado. Seguidamente se retiró el holder, el envase de mezclado para ser trasladado en un lapso de dos minutos al laboratorio de metrología en donde se encuentra el difractómetro de rayos X, para esto el XRD ya estaba previamente preparado para realizar el escaneo, ver figuras 3.65 y 3.66.

Procedimiento para Difractometría.

Se utilizó el equipo de Difractometría de rayos X empleando como emisor el tubo de cobre, rejilla con apertura 1/8 y máscara de bronce de 20mm de ancho, como receptor el detector de ventana alargada con rejilla de apertura 1/16, el portamuestra se mantuvo fijo (sin rotación), el escaneo se realizó desde 1° hasta 9° con un tiempo de ocho minutos, se obtuvo en promedio niveles de energía absorbida de 600 COUNTS fijando la tensión eléctrica junto con la corriente en 40000V y 0.045A respectivamente, con la ayuda de un software llamado XPERT DATA COLLECTOR en el que se fijaron todos los parámetros ya mencionados, cuando la muestra llegó fue vertida con la ayuda de una pipeta se recolectaron 2ml del envase para depositarse en el portamuestra con capacidad para 1ml ya que se realizaron dos escaneos.

Con este procedimiento se hicieron 33 escaneos, realizando en promedio ocho por día, debido a la alta concentración de arcilla en la mezcla, todos los escaneos fueron puntuales con el fin de obtener los picos característicos correspondientes al espaciamiento entre planos como referente para explicar la interacción entre los silicatos y las moléculas de las resinas-aminas, una vez concluido el escaneo se limpió el portamuestra con acetona y paño

desechable, el remanente en los envases fueron almacenados en el laboratorio de síntesis con su respectiva identificación, ver figura 3.67 y 3.71.

Asentamiento de Seis Aminas, Cuatro Resinas, C93A y RM210.

Preparación de Mezcla.

Para este ensayo se trabajó con las aminas D-230, EDR-148, EDR-176, T-403, TETA, TEPA, las resinas GE-38, GE-40, GE-60, EPON-828, la nanoarcilla cloisite 93A y el inhibidor de corrosión RM210, se emplearon mandil, guantes, y mascarilla como protección, se usó la balanza de 210g con los ajustes listos de nivelación y puesta en cero, los instrumentos empleados fueron la cuchara doble para las resinas, la espátula para nanoarcilla e inhibidor y la pipeta para las aminas, la masa empleada fue de 2.5g para las aminas y resinas considerada como el 100%, para la C93A se añadió un 20% en masa, equivalente a 0.5g y de inhibidor fue un 4% en peso, equivalente a 0.1g, los pesajes se realizaron en dos etapas, primero se colocó el envase vacío en la balanza, se puso en cero, se depositó la respectiva masa, y de esta manera se alistaron seis envases con aminas y cuatro envases con resinas que se almacenaron hasta poder mezclarse con su respectiva

mezcla de arcilla e inhibidor tratada térmicamente, lo que lleva a la segunda parte en la cual se precisó juntar la arcilla con el inhibidor en un segundo envase de mezclado, para esto se pesó primero la C93A, una vez encerrada nuevamente la balanza se añadió el RM210, este procedimiento se realizó para los 10 envases con arcilla e inhibidor uno a la vez después de concluir cada difracción de la mezcla, debido a que no se podía almacenar ambas sustancias juntas sin ser mezcladas, ver figura 3.72 y 3.73.

Procedimiento de Mezclado.

La preparación de las 10 mezclas se realizó en dos fases, primero para mezclar la cloisite 93A con el inhibidor debieron ser tratadas térmicamente ambas sustancias juntas en el mismo envase, el cual se introdujo dentro de un horno eléctrico a 70° centígrados durante 10 minutos, debido a la exposición a esta temperatura las partículas de la arcilla e inhibidor pudieron asociarse mejor y al mismo tiempo se minimizó la humedad presente. Después del tratamiento se retiró del horno para colocarse en el holder y mezclarse en el speedmixer para obtener un polvo homogéneo, estos pasos se replicaron para obtener las 10 mezclas.

La segunda fase consistió en mezclar la arcilla e inhibidor con el grupo de aminos y resinas, siguiendo este orden se procedió a

realizar las mezclas una a la vez después de que se finalizó la difracción ya que no se podía tener mezclados ambos polvos. De esta manera se vertió el polvo homogéneo con la ayuda de la espátula en el envase que contenía la amina, al tener los tres componentes juntos en un mismo envase se colocó en el holder para ser mezclado en el speedmixer nuevamente a 2500 rpm durante dos minutos, se inició presionando el botón de arranque hasta que termine el ciclo de mezclado, se extrajo el envase del mezclador para ser llevado al laboratorio de metrología en un tiempo de dos minutos.

Este mismo procedimiento se aplicó para el restante de mezclas, se ocuparon 2ml para realizar dos escaneos en el difractor, ver figuras 3.74 y 3.75.

Procedimiento para Difracción.

Se empleó el difractor con los siguientes aditamentos, tubo de cobre, rejilla con apertura 1/4 y máscara de bronce de 20mm de ancho, como receptor el detector de ventana alargada con rejilla de apertura 1/8, el portamuestra se mantuvo fijo (sin rotación), el escaneo se realizó desde 1° hasta 9° con un tiempo de ocho minutos, se obtuvo en promedio niveles de energía absorbida de 500 COUNTS fijando la tensión eléctrica junto con la corriente en

40000V y 0.045A respectivamente, con la ayuda del software XPERT DATA COLLECTOR en el que se fijaron todos estos parámetros, con la ayuda de la pipeta se recolectó 1ml para depositarse en el portamuestra y ser analizado.

Con este proceder se escanearon las 10 mezclas, el barrido realizado en el rango de ángulos mencionados fue enfocado para cuantificar el espaciamiento interplanar de los silicatos y así determinar el grado de asociación que tuvo con las aminas e inhibidor por medio del análisis de picos característicos, al culminar cada ensayo se limpió el portamuestra con acetona y paño desechable, los residuos en los envases se almacenaron en el laboratorio de síntesis con su respectiva identificación, ver figura 3.67 y 3.71.

Asentamiento de C93A en el Curado de Discos a Base de GE60 y Cuatro Aminas.

Preparación de Mezcla.

Se prepararon dos grupos de mezclas, de las cuales cuatro se formaron al mezclar GE-60 con EDR-148, EDR-176, TETA y TEPA, las cuatro restante son de igual composición pero fueron reforzadas

con la arcilla cloisite 93A agregando un 5% en masa, como protección se empleó mandil, guantes, y mascarilla, se usó la balanza de 210g nivelada y encerada, la cuchara para la GE-60, la espátula para la C93A y la pipeta para las aminas, se utilizó una parte de la masa perteneciente a la mezcla mayor realizada para las probetas de tensión descritas en el ensayo de tensión, el equivalente de masas empleadas para preparar estas ocho probetas para el grupo sin arcilla fue de 0.6g de GE-60, la masa de las aminas varía según la relación estequiométrica resultante, en promedio se usó 0.11g, para el grupo con arcilla se realizó el procedimiento anterior teniendo en cuenta que el EEW de la resina GE-60 aumenta al agregarse el 5% de arcilla con un peso equivalente de 0.03g, ver figura 3.63 y 3.64.

Procedimiento de Mezclado y Curado.

Para el mezclado una vez listo los envases con la resinas se colocaron en la balanza de 210g una a una agregándose la cantidad respectiva de amina empezando por el grupo de mezcla que no llevó arcilla, para luego ser mezclada en el speedmixer a 2500rpm durante un minuto debido a que ambos componentes al estar agitándose aumenta su temperatura y por ende la velocidad de la reacción, por lo que la mezcla empieza a curarse o

solidificarse, para el grupo con arcilla se siguieron los mismos pasos con la adición de la arcilla empleando la balanza y espátula, los parámetros de mezclado son iguales, después se eliminó el aire a cada mezcla en el envase con la ayuda de un equipo de vacío manteniendo una presión de 80kPa manométrica durante un minuto, luego se vertió lo más rápido posible cada mezcla con la ayuda de la espátula en los moldes de silicón, estos se fabricaron fundiendo el silicón con un curador en un envase con plantillas circulares de acero de 32mm de diámetro por 0.678mm de espesor pegadas en el fondo, al extraer el molde de silicón se tuvo el patrón listo para fundir y curar las probetas en forma de discos, se ocupó 0.6ml de mezcla para el llenado de cada molde de disco, ver figuras 3.68 y 3.69.

Al tener los ocho moldes de discos listos con la mezcla depositada esto se colocaron en el envase hermético con desecante para mantener baja la humedad durante el curado que tuvo un periodo de duración de siete días en el laboratorio a 21° centígrados y 50% de humedad relativa, después de este lapso se retiraron para ser analizados en el XRD.

Procedimiento para Difractometría.

Para estos ensayos en el difractómetro se emplearon los siguientes aditamentos, tubo de cobre, rejilla con apertura 1/4 y máscara de bronce de 10mm de ancho, como receptor el detector de ventana alargada con rejilla de apertura 1/8, el portamuestra se mantuvo fijo (sin rotación), el escaneo se realizó desde 1° hasta 9° con un tiempo de 53 minutos, se obtuvo en promedio niveles de energía absorbida de 500 COUNTS fijando la tensión eléctrica junto con la corriente en 40000V y 0.045A respectivamente, con la ayuda del software XPERT DATA COLLECTOR en el que se fijaron todos estos parámetros, el portamuestra empleado para muestras sólidas circulares en este caso los discos.

Siguiendo estos pasos se escanearon los ocho discos, los mismos que se manipularon con guantes de látex para evitar contaminar las superficies con las huellas digitales, se modificó el tiempo para el barrido con el fin de que la energía adsorbida pueda mostrar mejor las interacciones entre la arcilla con la amina y resina al estar en estado sólido, de esta manera se pudo cuantificar la distancia entre planos de los silicatos de la arcilla de cada mezcla con la amplitud de los picos, para así poder evaluar el grado de compatibilidad, al culminar cada ensayo se guardaron las probetas en los envases de

mezclado en el laboratorio de síntesis con su respectiva identificación, ver figuras 3.70 y 3.71.

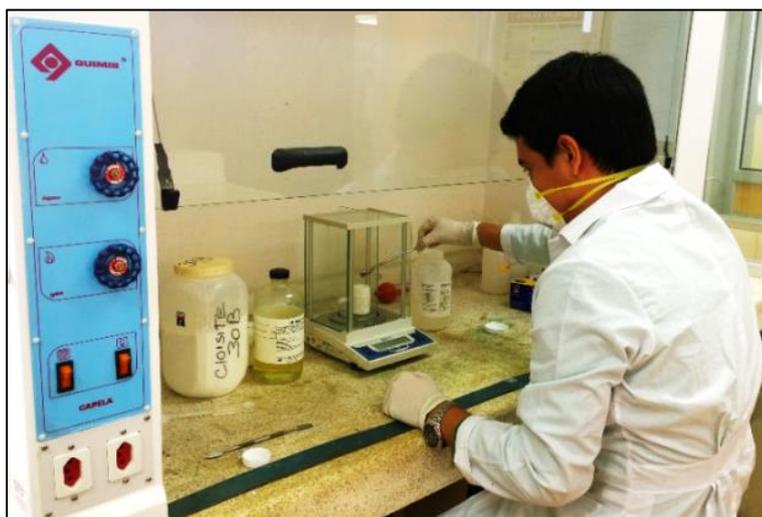


FIGURA 3.63. PESAJE DE AMINAS, RESINAS Y NANOARCILLAS



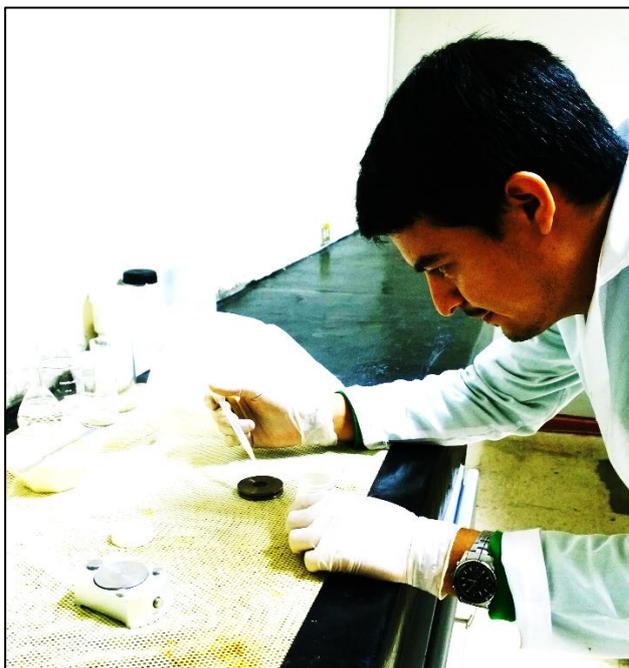
FIGURA 3.64. COLOCACIÓN DE ARCILLA CON MEDIO LÍQUIDO EN ENVASE DE MEZCLADO



**FIGURA 3.65. COLOCACIÓN DE ENVASE DE MEZCLADO EN
HOLDER**



**FIGURA 3.66. COLOCACIÓN DE HOLDER CON MUESTRA EN
CENTRIFUGADORA**



**FIGURA 3.67. COLOCACIÓN DE MEZCLA EN PORTAMUESTRA
DEL XRD**



**FIGURA 3.68. MOLDE CON PLANTILLAS CIRCULARES PARA
SILICÓN**



FIGURA 3.69. MEZCLA VERTIDA EN MOLDE DE SILICÓN PARA EL CURADO DE DISCO



FIGURA 3.70. DISCOS CURADOS JUNTO A LOS PORTAMUESTRAS DEL XRD



FIGURA 3.71. COLOCACIÓN DE PORTAMUESTRA EN EL DIFRACTOMETRO DE RAYOS X

3.2.3. Monitoreo del Curado de Resina Epóxica con Aminas y Arcillas-Inhibidor de Corrosión mediante FTIR.

Para esta parte se realizaron tres monitoreos de tres grupos de mezclas en el espectrofotómetro FTIR, durante un periodo de 168 horas para las mezclas resina-amina-arcilla-inhibidor, y 24 horas para el monitoreo de la mezcla GE-60 e inhibidor RM210, teniendo como base la misma resina GE-60 asociada de la siguiente forma:

- Monitoreo del curado de GE-60 y seis aminas.

- Monitoreo del curado de GE-60 y RM210 en tres porcentajes diferentes de masa.
- Monitoreo del curado de GE-60, con D-230, T-403, sin y con C93A/RM210.

Monitoreo del Curado de GE-60 y Seis Aminas.

Preparación de Mezcla.

Para esta mezcla se pesó la GE-60 dentro de los envases con la ayuda de la balanza de 210g y la cuchara, de tal manera que se tuvo listo los seis envases, luego con la ayuda de la pipeta se pesaron las siguientes seis aminas D-230, EDR-148, EDR-176, T-403, TETA y TEPA, una a la vez debido que al juntarse empieza la reacción química de curado, como protección se empleó mandil, guantes, y mascarilla, la masa empleada para la resina GE-60 fue de 1.5g mientras que la masa para las aminas, varió según la relación estequiométrica, en promedio se usó 0.32g de amina, ver figura 3.72.

Procedimiento de Mezclado.

El mezclado de estas seis muestras se realizó en el laboratorio de síntesis, preparándose una a la vez, una vez que ambos

componentes se juntaron en el envase de mezclado se colocó en el holder para ser encajado en el tambor rotatorio del mezclador, el mismo que se configuró a 2500rpm durante un minuto, para optimizar el tiempo que restaba después que comienza curar la mezcla, no se realizó el vacío a estas mezclas debido a la mínima porción de 0.5ml empleado.

Para este ensayo fue necesario elaborar los seis portamuestras de vidrio, formado por dos placas de vidrio cuadrados translucido de 0.5mm de espesor para microscopia cortadas con corta vidrio a medida de 2cm de lado, dos binchas metálicas para juntar los vidrios colocando en el medio una lámina de caucho de 1mm de espesor en forma de c como separador y contenedor para la muestra. Una vez preparados los seis portamuestras fue llevado junto con el envase de mezclado al laboratorio de reología en donde está el equipo, este desplazamiento tomó alrededor de dos minutos, para esto el FTIR estaba previamente listo para comenzar el escaneo una vez que se posicione el portamuestra, así estos se usaron conforme se realizaba y analizaba la mezcla de amina y resina con un desfase promedio entre preparación de 13 minutos, ver figura 3.74 y 3.75.

Procedimiento para Espectrofotometría.

Para realizar este ensayo de monitoreo se usó el equipo de espectrofotometría infrarrojo de la transformada de Fourier ensamblado con el accesorio para muestras sólidas en forma de disco, con el programa de escaneo SPECTRUM abierto con los parámetros principales configurados como el de rango de longitud de onda para el escaneo fue de 7500-4000 cm^{-1} , enfocándose el análisis en la disminución del pico de amina primaria (4935 cm^{-1}) y epóxico (4520 cm^{-1}) junto con un pico referencial (6000 cm^{-1}) cuya variación de absorbancia es mínima para efectuar los cálculos de espesor variable del portamuestra de curado, con cuatro escaneos consecutivos para obtener una figura promedio, antes de cada escaneo al encender el equipo requirió generar una figura base o background cuyo medio de análisis fue el aire, para tomar el tiempo de asentamiento se usó el reloj de la PC del FTIR. Una vez listas las seis probetas con el registro de las horas de inicio, arrancaba el reloj para monitorear las seis muestras cada 1.5 horas las primeras 11 horas para luego monitorear cada 24 hasta las 96 horas finalizando el ensayo en 168 horas, dando como resultado 13 figuras obtenidas por cada monitoreo con duración de un minuto, se marcó el portamuestra y el envase base para posicionar cada muestra siempre en el mismo punto, concéntrico al eje del emisor

del rayo infrarrojo cada vez que fue escaneado, culminado el monitoreo se almacenaron los portamuestras en el laboratorio de síntesis, ver figura 3.76, 3.77 y 3.79.

Monitoreo del Curado de GE-60 y RM210 en Tres Porcentajes diferentes de Masa.

Preparación de Mezcla.

Se prepararon tres mezclas de GE-60 con RM210 en distintos porcentajes en masa de 1%, 3% y 5%, se pesó la GE-60 dentro de los envases con la ayuda de la balanza de 210g y la cuchara, para tener listo los tres envases, luego con la ayuda de la espátula se pesaron las masas de RM210, una a la vez debido que al juntarse empieza la reacción química de curado, como protección se empleó mandil, guantes, y mascarilla, la masa de GE-60 fue de 1.5g mientras que la masa para el inhibidor fue de 0.016g, 0.048g y 0.078g respectivamente, ver figura 3.72.

Procedimiento de Mezclado.

Se mezclaron estas seis muestras en el laboratorio de síntesis, preparándose una a la vez, se colocó en el holder para ser mezclado en el speedmixer, el mismo que se configuró a 2500rpm

durante dos minutos, para optimizar el tiempo que restaba después que comienza curar la mezcla.

Se elaboraron tres portamuestras de vidrio, con el procedimiento descrito anteriormente.

Con los tres portamuestras listos, fue llevado junto con el envase de mezclado al laboratorio de reología en donde está el equipo uno a la vez, este desplazamiento tomó alrededor de dos minutos, para esto el FTIR estaba configurado y listo, se obtuvo un desfase promedio entre preparación de 20 minutos, ver figura 3.75.

Procedimiento para Espectrofotometría.

Se usó el equipo de espectrofotometría infrarrojo FTIR, ensamblado con el accesorio para muestras sólidas en forma de disco, con el programa de escaneo SPECTRUM configurado el escaneo entre 7500-4000 cm^{-1} para la longitud de onda, centrándose en los picos de amina primaria (5225 cm^{-1}) y epóxico (4350 cm^{-1}), con su respectivo background y cuatro escaneos consecutivos, se usó el reloj de la PC del FTIR.

Una vez listas las tres probetas, con el tiempo de inicio, se tomó el tiempo de monitoreo cada dos horas las primeras siete horas para finalizar a las 24 horas, dando como resultado seis figuras por cada monitoreo con duración de un minuto, se marcó el portamuestra

para mantener el mismo punto de escaneo, culminado el monitoreo se almacenaron los portamuestras en el laboratorio de síntesis, ver figura 3.76, 3.77 y 3.79.

Monitoreo del Curado de GE-60, con D-230, T-403, sin y con C93A/RM210.

Preparación de Mezcla.

Se prepararon las masas de GE-60, D-230, T-403, agregando el 5% de C93A combinado con el 1% de RM210 en masa respectivamente, así se empleó:

- Primera mezcla 1.51g de GE-60, 0.69g de T-403.
- Segunda mezcla 1.56g de GE-60, 0.71g de T-403 y 0.078g de C93A.
- Tercera mezcla 1.51g de GE-60, 0.69g de T-403, 0.076g de C93A y 0.015 de RM210.
- Cuarta mezcla 1.55g de GE-60, 0.54g de D-230.
- Quinta mezcla 1.54g de GE-60, 0.48g de D-230 y 0.077g de C93A.
- Sexta mezcla 1.51g de GE-60, 0.48g de D-230, 0.075g de C93A y 0.015 de RM210.

Siguiendo este orden el procedimiento para el pesaje y preparación de las masas tanto de resinas, aminas, arcilla e inhibidor es el mismo descrito en los ensayos anteriores a este, como protección se empleó mandil, guantes, y mascarilla, ver figura 3.72 y 3.73.

Procedimiento de Mezclado.

El orden seguido para el mezclado de estas seis muestras es el mismo, mencionado para la preparación de las mezclas, primero se mezclaron las muestras del grupo de T-403, en el speedmixer con los mismos parámetros de velocidad y tiempo, para las muestras con la combinación arcilla e inhibidor se realizó el mismo procedimiento de mezclado ya descrito.

Se elaboraron seis portamuestras de vidrio, con el procedimiento descrito anteriormente, una vez que se preparaba una mezcla a la vez en los envases, estas se llevaban al laboratorio de reología en donde está el equipo, este desplazamiento tomó alrededor de dos minutos, para esto el FTIR estaba configurado y listo, se obtuvo un desfase promedio entre preparación de 30 minutos, ver figura 3.74 y 3.75.

Procedimiento para Espectrofotometría.

Al igual que en el ensayo anterior se usó el equipo de espectrofotometría infrarrojo FTIR, ensamblado con el accesorio para muestras sólidas en forma de disco, con el programa de escaneo SPECTRUM configurado el escaneo entre 7500-4000 cm^{-1} , enfocándose el análisis en la disminución del pico de amina primaria (4935 cm^{-1}) y epóxico (4520 cm^{-1}) junto con un pico referencial (6000 cm^{-1}), con una variación mínima en su absorbancia para obtener los espesores para cada tiempo, ubicados en dichas longitudes de onda, con su respectivo background y cuatro escaneos consecutivos, se usó el reloj de la PC del FTIR, ver figura 3.77 y 3.78.

Al tener las seis probetas con el registro del tiempo de inicio, arrancó el reloj para monitorear las seis muestras con distintos intervalos de tiempo así se tiene:

- Grupo D-230 (tres mezclas): 0, 1.5, 3, 7, 17, 19, 22, 24, 26, 28, 31, 41, 48, 72, 144, 168 horas
- Grupo T-403 (tres mezclas): 0, 1.5, 3, 6, 9, 12, 22, 24, 27, 30, 33, 46, 48, 144, 168 horas

Dando como resultado 17 figuras obtenidas por cada monitoreo con duración de un minuto, se marcó el portamuestra y el envase base

para posicionar cada muestra siempre en el mismo punto, concéntrico al eje del emisor del rayo infrarrojo cada vez que fue escaneado, culminado el monitoreo se almacenaron los portamuestras en el laboratorio de síntesis, ver figura 3.79.



FIGURA 3.72. PESAJE DE RESINA, AMINA, ARCILLA E INHIBIDOR DE CORROSIÓN



FIGURA 3.73. COLOCACIÓN DE INHIBIDOR Y ARCILLA EN ENVASE DE MEZCLADO



FIGURA 3.74. COLOCACIÓN DE ENVASE DE MEZCLADO CON INHIBIDOR Y ARCILLA EN HORNO ELÉCTRICO



**FIGURA 3.75. COLOCACIÓN DE ENVASE DE MEZCLADO EN
HOLDER PARA LA CENTRIFUGADORA**



**FIGURA 3.76. ELEMENTOS PARA CONSTRUIR UN
PORTAMUESTRA DE CURADO**



FIGURA 3.77. VERTIDO DE MEZCLA EN PORTAMUESTRA DE CURADO

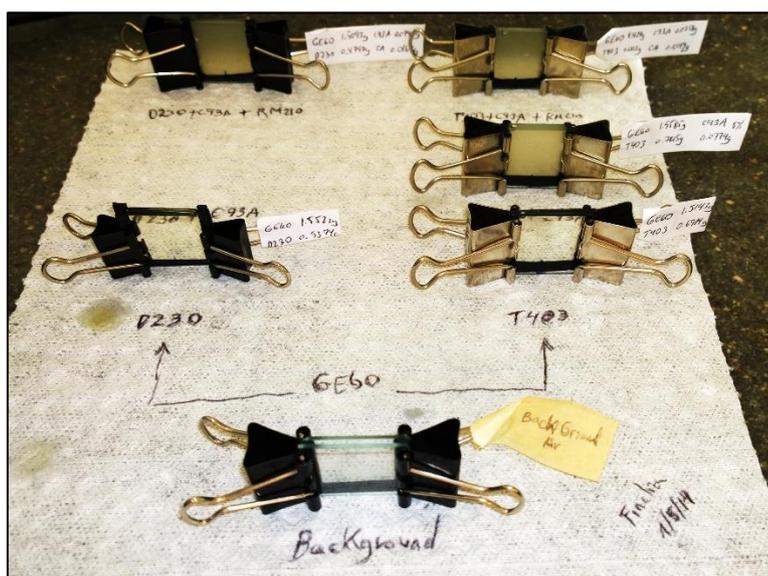


FIGURA 3.78. PORTAMUESTRAS DE CURADO DE AMINA D-230 Y T-403 CON ARCILLA E INHIBIDOR

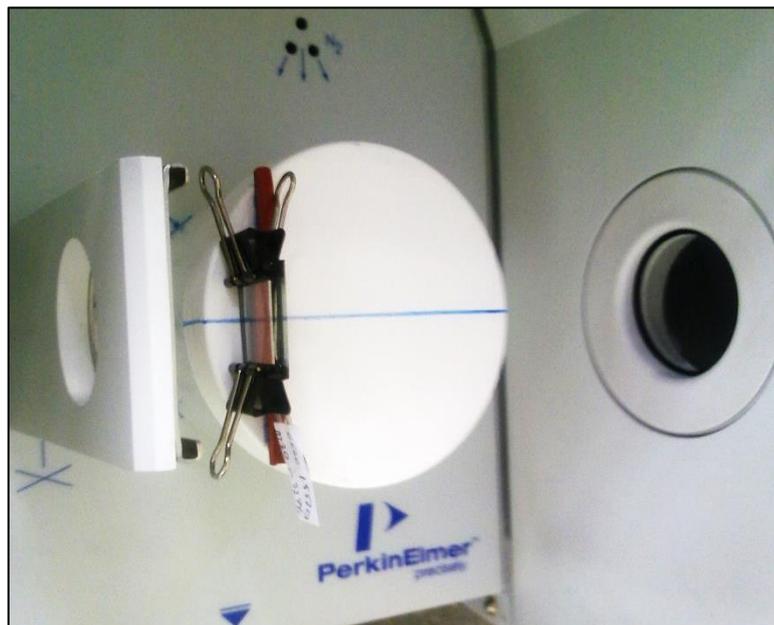


FIGURA 3.79. COLOCACIÓN DE PORTAMUESTRA EN ESPECTROFOTÓMETRO INFRARROJO

3.2.4. Ensayos de Tensión Mecánica de Pinturas Epóxicas-Aminas-Arcillas.

Preparación de Mezcla.

Al igual que el ensayo de curado de discos realizado en el XRD en la sección 3.2.2, la preparación de los componentes de la mezcla se dividió en dos grupos, el primero se pesaron las masas para mezclar la GE-60 con EDR-148, EDR-176, TETA y TEPA, la segunda se pesaron las mismas aminas, resina junto con el 5% en masa de 93A, como protección se empleó mandil, guantes, mascarilla, se usó la balanza de 210g nivelada y encerada, la

cuchara para la GE-60, la espátula para la C93A y la pipeta para las aminas, la masa empleada fue de 18g de GE-60, la masa promedio usada para las aminas fue de 1.25g, para las arcillas de 0.51g.

Las masas empleadas se calcularon a partir del volumen y cantidad de probetas a curar, con una masa promedio de 1.5g se curaron seis probetas por cada muestra con y sin arcilla dando un total de 48 probetas, ver figura 3.80.

Procedimiento de Mezclado y Curado.

Para el mezclado una vez listo los envases con la resinas se colocaron en la balanza de 210g una a una agregándose la cantidad respectiva de amina empezando por el grupo de mezcla que no llevó arcilla, para luego ser mezclada en el speedmixer a 2500rpm durante un minuto debido a que ambos componentes al estar agitándose aumenta su temperatura y por ende la velocidad de la reacción, por lo que la mezcla empieza a curarse o solidificarse, para el grupo con arcilla se siguieron los mismos pasos con la adición de la arcilla empleando la balanza y espátula, los parámetros de mezclado son iguales, después se eliminó el aire a cada mezcla en el envase con la ayuda de un equipo de vacío manteniendo una presión de 80kPa manométrica durante un

minuto, luego se vertió lo más rápido posible cada mezcla con la ayuda de la espátula en los moldes de silicón, los mismos que fueron fabricados usando plantillas de polipropileno troqueladas con las medidas 135x5x1.375 milímetros normalizadas según el troquel ASTM 256-B, se pegaban dos plantillas en el fondo del envase en donde se vertió el silicón con el curador para obtener el molde con el patrón para después verter y curar las probetas de tensión, se ocupó 17g de mezcla para el llenado de seis probetas en tres moldes de silicón por muestra, ver figura 3.81, 3.82, 3.83 y 3.84.

Al tener los moldes con la mezcla depositada estos se colocaron en el envase hermético con desecante durante siete días en el laboratorio a 21° centígrados y 50% de humedad relativa, al terminar el curado se retiraron para ser marcados y numerados previo al ensayo, ver figura 3.85.

Procedimiento para Ensayo de Tensión.

Para realizar el ensayo de tracción se empleó la máquina de ensayos universal marca SHIMADZU modelo AG-IS de 10kN de capacidad descrita en la sección 3.1, como referencia para determinar los parámetros principales para este ensayo se tomaron de la norma ASTM D882-12, al tener un espesor promedio de

1.42mm entre 48 probetas se recurrió a efectuar 13 ensayos con probetas extras, de las cuales siete correspondieron a la mezcla de GE-60+EDR-148 y la seis restantes a la mezcla de GE60+EDR-148+C93A, con el método de prueba y error variando la velocidad de tensión desde 10mm/min hasta 2mm/min bajo la condición que deberían fallar dentro del rango desde 30 a 200 segundos, de esta manera se encontró que la velocidad de 2mm/min fue óptima para estas probetas, la distancia de separación entre los mandriles medidos desde donde inicia la superficie dentada fue 50mm para esto se marcó en cada probeta la distancia de 40mm debido a que ambos mandriles tienen un desgaste de 5mm, una vez fijado estos dos parámetros se pudo realizar el respectivo procedimiento montaje todas las probetas.

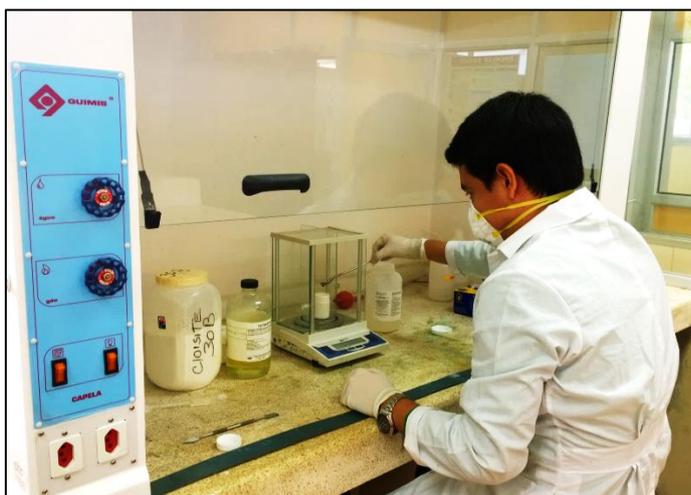
Primero se realizó el rayado o marcaje de las líneas guía para poder posicionar la probeta alineada con el eje imaginario de los mandriles, para esto se trazaron tres rayas una para establecer la mitad a lo largo de su longitud y las dos restantes para establecer la distancia de separación de los mandriles, una vez marcados se procedió a medir en la parte media y extremos tanto el ancho como el espesor, se anotaron los valores y se tomaron los valores menores para ser ingresados como medida para calcular el área de

la sección, utilizando el calibrador o pie de rey, este procedimiento se replicó para las demás probetas, ver figura 3.86.

Segundo se posicionó la probeta entre las mordazas manteniendo la alineación, se ajustaron de tal forma que no haya deslizamiento entre las mordazas y la probeta, seguido a esto se procedió a encerrar la máquina para esto se tensionó levemente la probeta hasta que marque cero la distancia en la pantalla de la máquina, seguido a esto con la ayuda del software TRAPEZIUM2 de la PC conectada a esta máquina se pudo configurar los parámetros de distancia, velocidad, medidas de la sección, cantidad de ensayos, la fuerza aplicada de 2KN, para dar inicio al ensayo se realizó el segundo enceramiento tanto de desplazamiento como de fuerza con el programa, al dar arranque de la prueba se tomó el tiempo con el cronometro para registrar el tiempo de falla, al terminar el ensayo se desmontó las dos partes de la probeta rota y se registró en sitio de la falla que podría estar dentro de la separación entre mordazas o fuera de estas, luego se almacenaron en el laboratorio de síntesis, ver figura 3.87.

Este procedimiento se aplicó para las probetas restantes, al final el programa se encargó de recoger, calcular y mostrar los valores de interés para este ensayo que fueron los valores máximos para el

esfuerzo, deformación y modulo elástico o de Young, con sus respectivas figuras de esfuerzo vs deformación.



**FIGURA 3.80. PESAJE DE RESINA, AMINA Y ARCILLA EN
BALANZA DIGITAL 210G D 0.001G**



**FIGURA 3.81. PESAJE DE GEL DE SILICÓN CON AGENTE
CURADOR EN BALANZA DIGITAL 3100G D 0.1G**



**FIGURA 3.82. TROQUELADOR PARA PLATILLAS
NORMALIZADAS DE PROBETAS DE TENSIÓN**



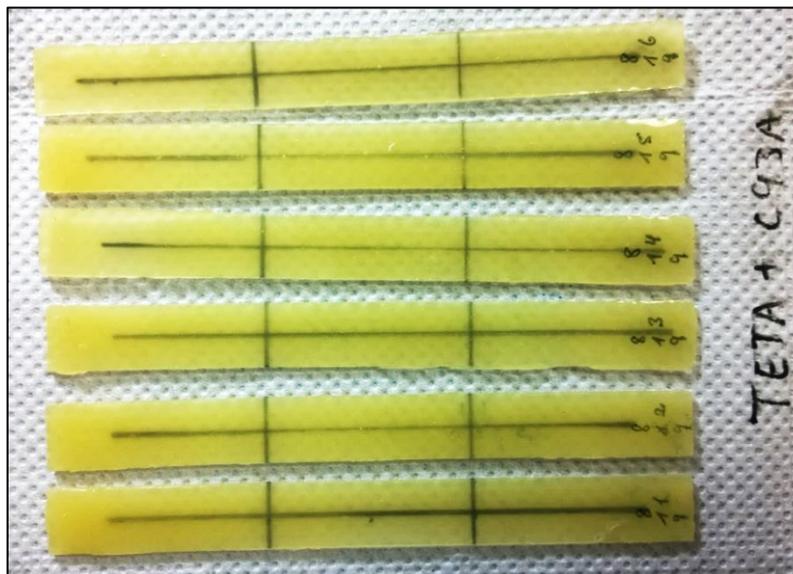
**FIGURA 3.83 MOLDE PARA SILICÓN CON PLANTILLAS
NORMALIZADAS PARA PROBETAS DE TENSIÓN**



FIGURA 3.84. COLOCACIÓN DE MOLDE PARA SILICÓN EN CÁMARA DE VACÍO PARA EXTRACCIÓN DE AIRE



FIGURA 3.85. MOLDES DE SILICÓN PARA EL CURADO DE PROBETAS



**FIGURA 3.86. PROBETAS CURADAS RAYADAS DE GE-60 CON
TETA Y C93A**



**FIGURA 3.87. COLOCACIÓN DE PROBETA EN MÁQUINA
UNIVERSAL DE ENSAYOS**

3.2.5. Microscopia de Barrido Electrónico de Pinturas Epóxicas-Aminas-Arcillas.

Para realizar la microscopía se empleó el microscopio de barrido electrónico o SEM por sus siglas en inglés y el recubridor metálico de platino, para esto se tomaron dos trozos de las secciones de falla de las probetas tensionadas a base de la mezcla GE-60+EDR-176 y GE-60+EDR-176+C93A, descritas en la sección 3.2.4, para esto se cortó con una tijera en uno de los extremos de falla un trozo con una altura aproximada de 3mm ejerciendo el movimiento de corte de una sierra para evitar fracturar la probeta debido al comportamiento frágil, para que pueda ser pegado al portamuestra, estos trozos de probeta se mantuvieron durante 24 horas en el interior del envase hermético con desecante para extraer la humedad adherida en el laboratorio de metrología a una temperatura de 20° centígrados y humedad relativa de 51%, para así garantizar un buen recubrimiento, ver figura 3.88 y 3.89.

Una vez cortado el trozo de probeta, este con la ayuda de una pinza plana fue adherido al disco pegante de la superficie del portamuestra de aluminio compatible con el microscopio y recubridor, de esta manera se colocó en el interior del recubridor con la ayuda de una pinza exclusiva para este portamuestra, el

recubridor se preparó previamente limpiando la cámara con alcohol isopropílico y un paño desechable, luego se encendió el equipo para hacer el purgado del aire realizando vacío en la cámara hasta una presión de 1mbar, seguido a esto se abrió la válvula del paso del nitrógeno para llenar la cámara, luego con la perilla de fuga se evacuó el nitrógeno hasta alcanzar una presión de 0.1mbar presionando el botón del plasma para preparar el haz, el mismo que genera una corriente en el emisor dentro de la cámara, este se reguló constantemente hasta alcanzar y mantener en 18mA, con este amperaje se asignó un tiempo de 120 segundos, una vez culminado el recubrimiento se retiró el portamuestra para ser colocado en el SEM, ver figura 3.90 y 3.91.

Al prepararse el microscopio este se manipuló con mucha precaución debido a la alta sensibilidad de los instrumentos de detección interna que posee, se abrió la compuerta deslizable en donde se encuentra la base de barrido para el portamuestra en donde se colocó con la pinza, se cerró la compuerta y con la ayuda de los programas SCANDIUM y XT MICROSCOPE CONTROL de la PC conectada al SEM, se visualizó y posicionó la superficie de la muestra en la marca cerca del emisor de electrones gracias a una cámara de video interna y la base móvil del portamuestras,

después se realizó el respectivo vació hasta alcanzar una presión manométrica de 0.002Pa, luego de este paso se procedió a realizar el barrido electrónico para generar la figuras digitales de la microestructura de la muestra. Se hicieron cinco capturas de figuras a diferentes aumentos desde 100x-1mm, 200x-500um, 450x-200um, 1000x-100um, 2300x-50um, por muestra de las cuales se escogieron para el análisis visual las de 450x-200um y 2300x-50um, estos pasos se aplicaron a todas las muestras, una vez concluida la microscopía, se presurizó la cámara, se abrió la compuerta y se retiró el portamuestra el mismo que se almacenó en el laboratorio de síntesis, ver figura 3.92 y 3.93.

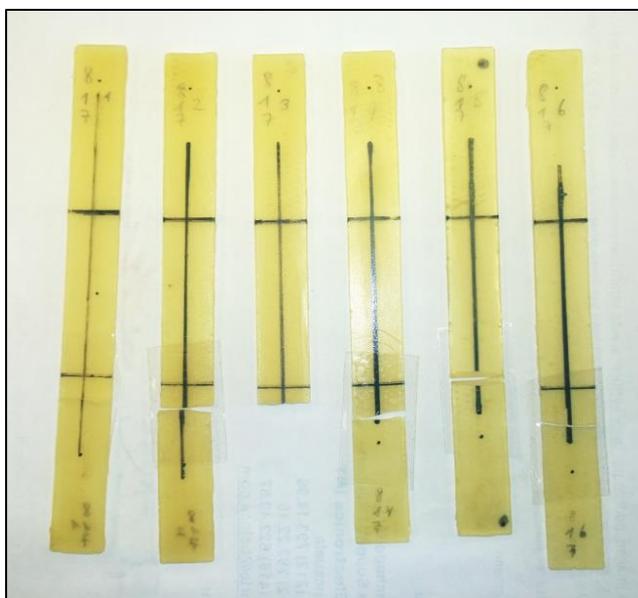


FIGURA 3.88. PROBETAS FRACTURADAS DE GE-60 CON EDR-176 DE ENSAYO DE TENSIÓN



FIGURA 3.89. PROBETAS CORTADAS COLOCADAS EN PORTAMUESTRAS PARA RECUBRIDOR



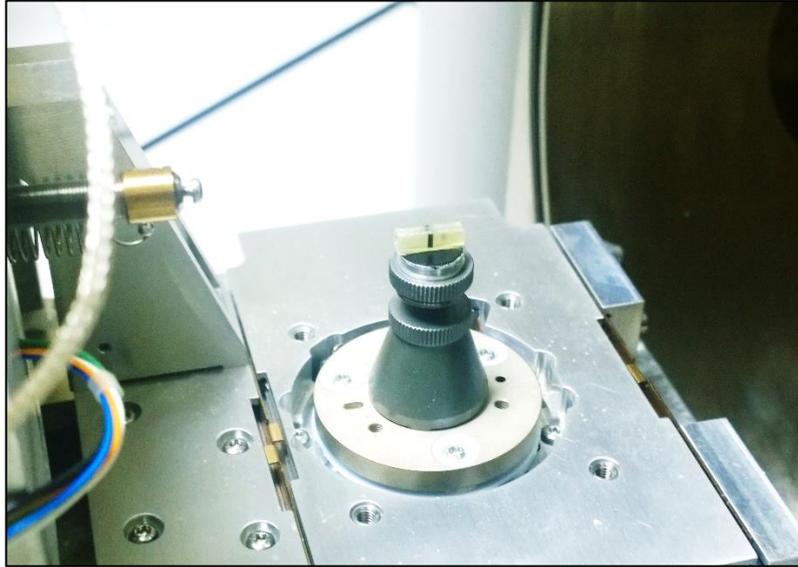
FIGURA 3.90. COLOCACIÓN DE PORTAMUESTRA EN RECUBRIDOR METÁLICO DE PLATINO



**FIGURA 3.91. PORTAMUESTRA CON PROBETAS EN
RECUBRIDOR METÁLICO DE PLATINO**



**FIGURA 3.92. COLOCACIÓN DE PORTAMUESTRA EN
MICROSCOPIO DE BARRIDO ELECTRÓNICO**



**FIGURA 3.93. PORTAMUESTRA CON PROBETAS EN
MICROSCOPIO DE BARRIDO ELECTRÓNICO**

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

4.1. Asentamiento de Nanoarcilla Mezclada con Aminas.

Para cuantificar el asentamiento de la arcilla en estos medios líquidos empleados se realizaron dos ensayos con análisis cuantitativos correlacionados, los datos obtenidos se tabularon y analizaron con los programas OMINIC, MICROSOFT EXCELL y MICROCAL ORIGIN, para facilitar el procesamiento así se tiene:

- Asentamiento visual para obtener un desplazamiento de la arcilla en suspensión debido a la fuerza de gravedad en el tiempo cada 0.5ml desde los 10ml hasta los 7ml.
- Espectrometría de una muestra perteneciente a la mezcla empleada en el primer ensayo dentro de un rango de tiempo al inicio y cuando la arcilla C93A se desplazó 0.5ml desde los 10ml hasta los 7ml.

Asentamiento Visual.- se centró en el análisis de la interacción entre la arcilla y las aminas D-230, EDR-148, EDR-176 y TETA, sin embargo se emplearon como referentes de este comportamiento a los aceites de silicón, mineral y el solvente tolueno, por la viscosidad, composición química junto con la tasa de evaporación a temperatura ambiente de este solvente. Se registraron los parámetros de volumen de arcilla desplazado y el tiempo que tomó en asentarse 0.5ml, los mismos que se muestran tabulados y graficados a continuación:

TABLA 1
TIEMPOS DE ASENTAMIENTO DE ARCILLA EN MEDIOS
LÍQUIDOS

5% C93A							
V (ml)	D-230	EDR-148	EDR-176	TETA	A. Min.	A. Si.	Tol.
	T (min)						
10.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.50	5.00	7.33	35.00	31.00	3.00	332.0	34.00
9.00	10.00	24.00	51.00	65.00	5.00	-	54.00
8.50	13.00	39.33	71.00	79.00	10.00	-	86.00
8.00	15.00	51.28	91.00	94.00	20.00	-	130.00
7.50	18.00	70.00	111.00	106.0	26.00	-	-
7.00	24.00	78.50	131.00	118.0	31.00	-	-

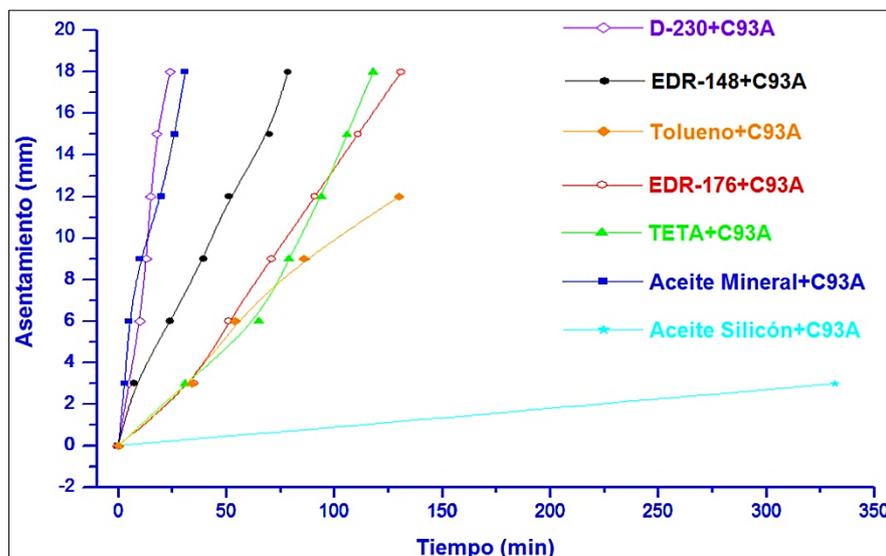


FIGURA 4.1. DISTANCIA VS TIEMPO DE ASENTAMIENTO DE ARCILLA C93A

Es apreciable en la figura que el mayor tiempo de asentamiento o baja velocidad de precipitación fue para la arcilla mezclada con el aceite de silicón, en parte se debe a su viscosidad mucho mayor a los otros medios líquidos presentados en este ensayo, con la espectrometría infrarroja realizada simultáneamente a esta mezcla descrita más adelante, se corroboró la hipótesis sobre la nulidad de la interacción molecular entre la C93A con el silicón.

La arcilla mezclada con la D-230 y aceite mineral mostraron tiempos de asentamiento menores al resto, esto se debió a su baja viscosidad, con la espectrometría infrarroja realizada paralelamente a este ensayo, el cual se describe posteriormente a estos

resultados, comprobó que no existió interacción entre la arcilla y estos dos líquidos.

En el grupo intermedio se tiene a la C93A mezclada con tolueno, EDR-176, TETA y EDR-148, con un tiempo mayor para el solvente tolueno esto se debió a la evaporación natural a temperatura ambiente lo que influyó en el aumento de concentración de amina primaria registrado en los picos de absorbancia. Al centrar el análisis en las tres aminas de este grupo, la C93A con la EDR-176 obtuvo el mejor tiempo seguido muy cerca de la TETA y al final la EDR-148, lo que indicó que la EDR-176 tuvo mayor compatibilidad.

TABLA 2
VELOCIDADES DE ASENTAMIENTO DE ARCILLA EN MEDIOS
LÍQUIDOS

5% C93A							
V (ml)	D-230 vt (m/s)	EDR-148 vt (m/s)	EDR-176 vt (m/s)	TETA vt (m/s)	A. Min. vt (m/s)	A. Sil. vt (m/s)	Tol. vt (m/s)
10.0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	1.0E-6	6.8E-6	1.4E-6	1.6E-6	1.7E-5	1.5E-7	1.5E-6
9.00	1.0E-6	4.2E-6	2.0E-6	1.5E-6	2.0E-5	-	1.9E-6
8.50	1.2E-6	3.8E-6	2.1E-6	1.9E-6	1.5E-5	-	1.7E-6
8.00	1.3E-6	3.9E-6	2.2E-6	2.1E-6	1.0E-5	-	1.5E-6
7.50	1.4E-6	3.6E-6	2.3E-6	2.4E-6	9.6E-6	-	-
7.00	1.3E-6	3.8E-6	2.3E-6	2.5E-6	9.7E-6	-	-

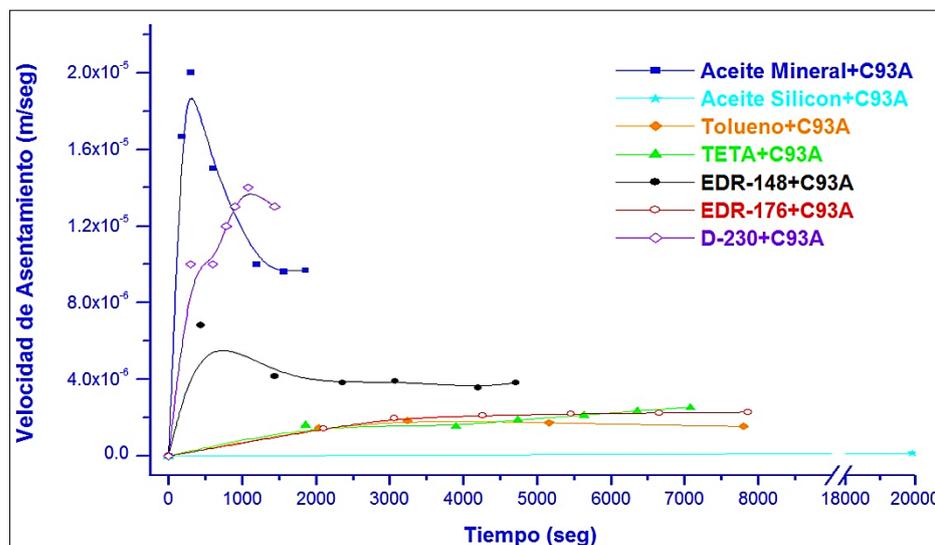


FIGURA 4.2. VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO VS TIEMPO DE ARCILLA C93A

La figura con la menor velocidad de asentamiento como es de esperarse del análisis anterior fue para la arcilla mezclada con el aceite de silicón, debido a la viscosidad alta.

La arcilla mezclada con la D-230 y aceite mineral mostraron velocidades crecientes mayores a las del resto, llegando a un máximo para disminuir y estabilizarse según la tendencia mostrada. Para el grupo intermedio se tiene que la arcilla en el tolueno presentó una velocidad levemente creciente que llega a un máximo para luego decrecer, superando en magnitud por ser la menor velocidad obtenida en este grupo, esto se debió a la evaporación presentada, analizando las tres aminas restantes, se tuvo la mejor

velocidad de asentamiento por su estabilidad y magnitud con la EDR-176 seguido de cerca por la TETA y al final la EDR-148, por lo tanto se recalca la mejor compatibilidad con la EDR-176.

TABLA 3
DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE ARCILLA EN MEDIOS
LÍQUIDOS

5% C93A							
V (ml)	D-230	EDR-148	EDR-176	TETA	A. Min.	A. Sil.	Tol.
	Dh (m)						
10.0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	1.3E-5	1.1E-5	3.5E-6	8.3E-6	1.6E-5	7.8E-5	1.3E-6
9.00	1.3E-6	8.3E-6	4.1E-6	8.2E-6	1.8E-5	-	1.4E-6
8.50	1.4E-6	7.9E-6	4.3E-6	9.1E-6	1.6E-5	-	1.4E-6
8.00	1.5E-6	8.0E-6	4.4E-6	9.6E-6	1.3E-5	-	1.3E-6
7.50	1.6E-6	7.6E-6	4.4E-6	1.0E-6	1.3E-6	-	-
7.00	1.5E-6	7.9E-6	4.5E-6	1.0E-6	1.3E-6	-	-

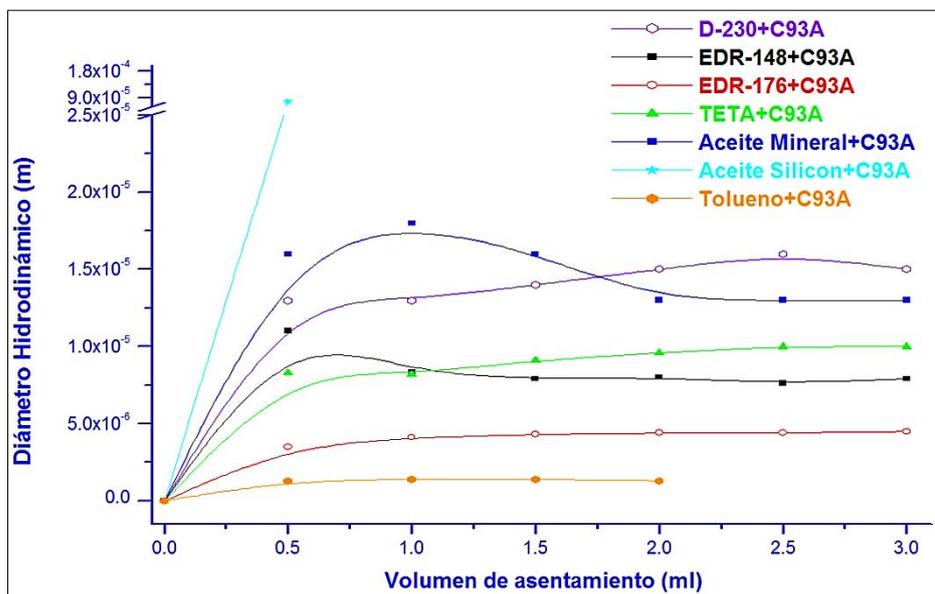


FIGURA 4.3. DIÁMETRO HIDRODINÁMICO VS VOLUMEN DE ASENTAMIENTO DE C93A

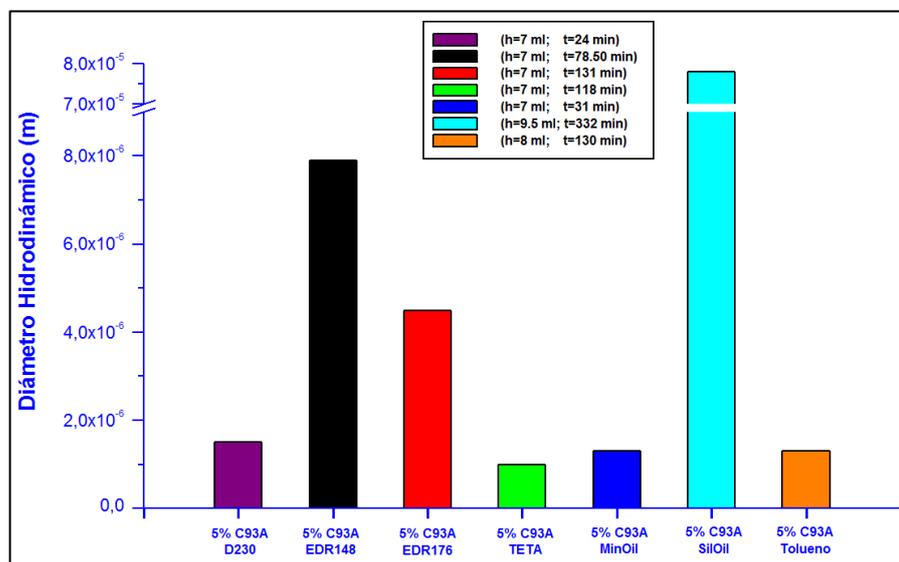


FIGURA 4.4. DIÁMETROS HIDRODINÁMICOS FINALES DE C93A

El diámetro hidrodinámico final menor resultante para la arcilla se obtuvo con el tolueno y el mayor con el aceite de silicón, el diámetro obtenido con el aceite mineral fue similar al D-230, cuyo diámetro resultó ser mayor al de todas las aminas, entre las aminas la EDR-176 fue la que menor diámetro mostro y esto se relaciona con el tiempo y velocidad de asentamiento, ya que al tener un diámetro de 4.3 micras mantuvo un tiempo y velocidad de asentamiento mejor al de las otras aminas y se debió a la compatibilidad entre la amina EDR-176 y la arcilla C93A.

.
Ensayo de Espectrometría Infrarrojo.- al realizarse simultáneamente con el asentamiento visual permitió obtener las figuras del espectro de la mezcla cada cierto tiempo, al juntarse las 12 figuras se pudo apreciar el cambio de concentración en ciertas bandas características del agente curador, el barrido realizado para la longitud de onda estuvo comprendida entre 4000 a 400 cm^{-1} para este análisis se escogió la banda del espectro infrarrojo comprendida entre 3700-3000 cm^{-1} , correspondientes al grupo de aminas primarias, con la ayuda del programa OMNIC se obtuvieron las áreas de los picos cada cierto tiempo, a continuación se muestran las figuras de absorbancia obtenidas en el FTIR seguido de la tabla 4 que muestra las áreas de pico obtenidas.

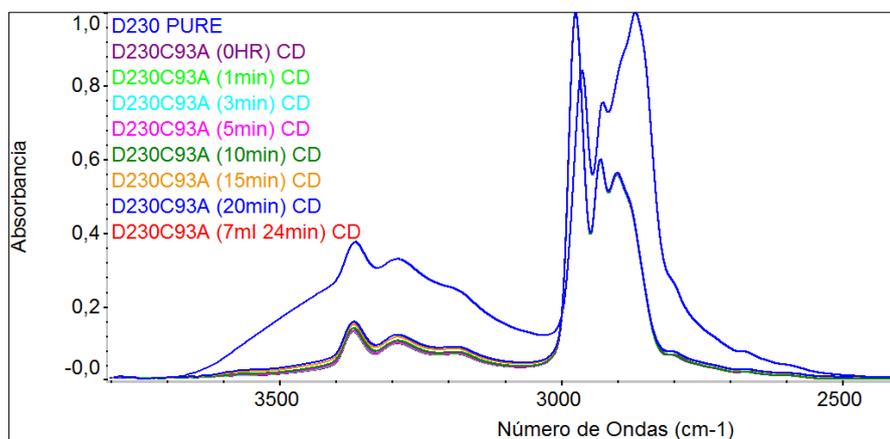


FIGURA 4.5. PICOS DE ABSORBANCIA DE C93A EN D-230

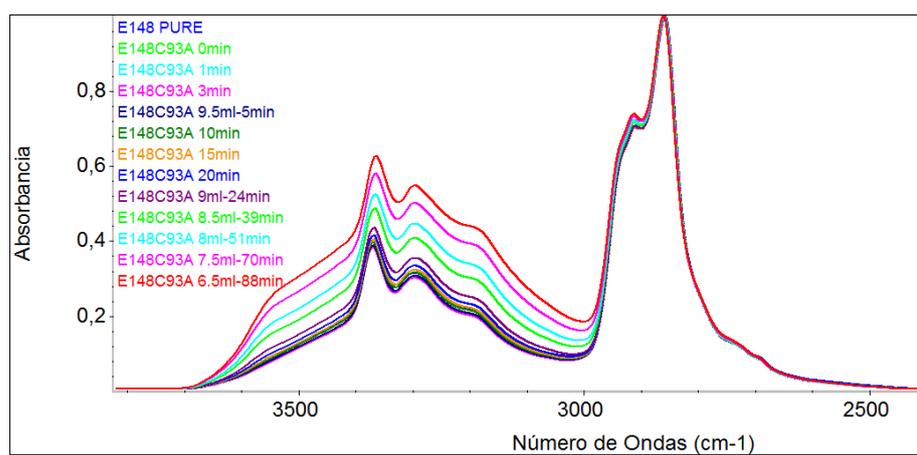


FIGURA 4.6. PICOS DE ABSORBANCIA DE C93A EN EDR-148

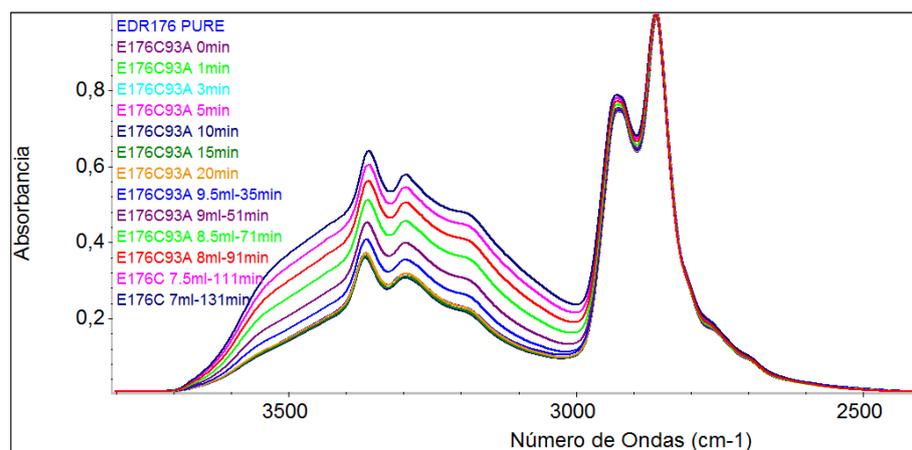


FIGURA 4.7. PICOS DE ABSORBANCIA DE C93A EN EDR-176

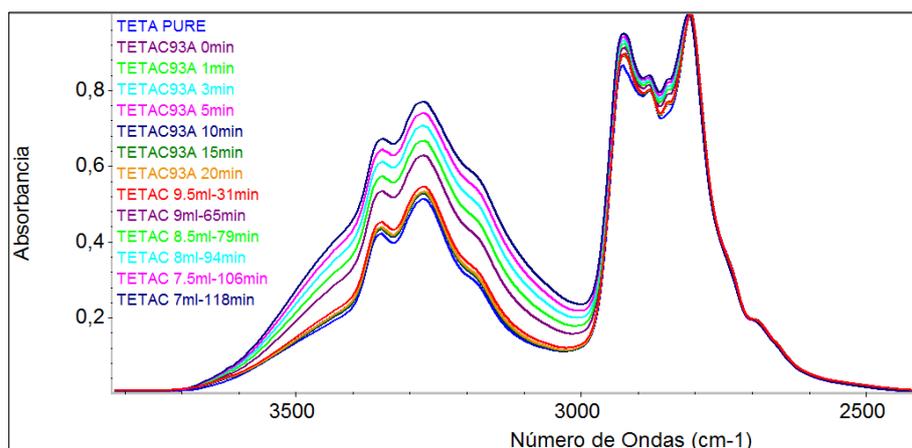


FIGURA 4.8. PICOS DE ABSORBANCIA DE C93A EN TETA

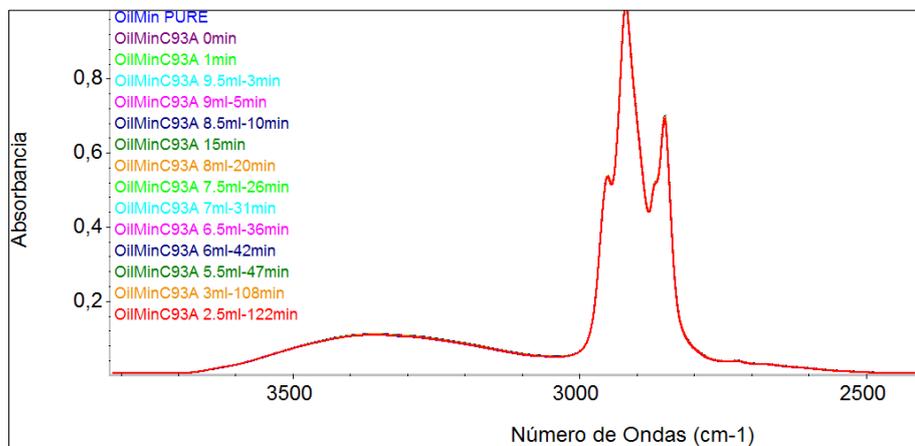


FIGURA 4.9. PICOS DE ABSORBANCIA DE C93A EN ACEITE MINERAL

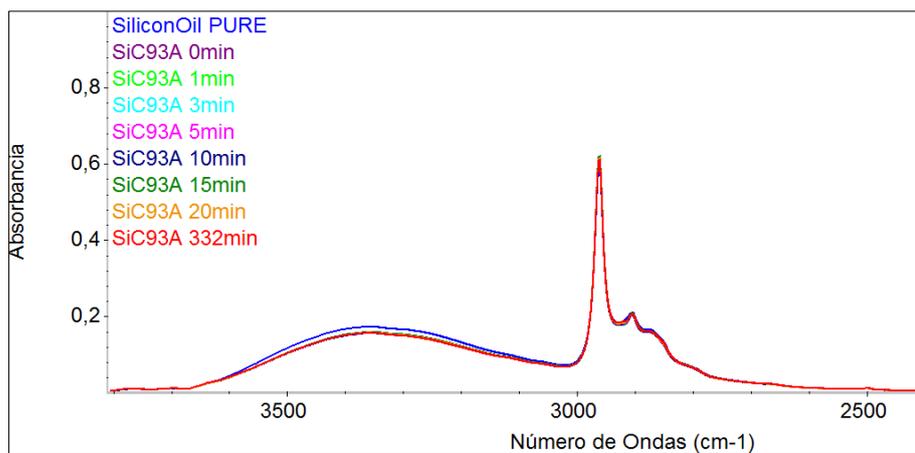
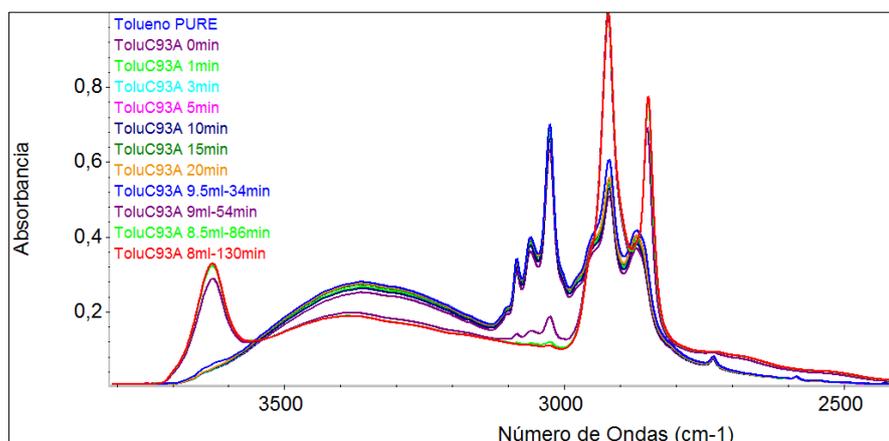


FIGURA 4.10. PICOS DE ABSORBANCIA DE C93A EN ACEITE DE SILICÓN



**FIGURA 4.11 PICOS DE ABSORBANCIA DE C93A EN
TOLUENO**

TABLA 4

**ÁREAS DE PICOS DE AMINA PRIMARIA EN MEDIOS LÍQUIDOS
CON CLOISITE 93A**

5% C93A													
D230		EDR148		EDR176		TETA		Aceite Mineral		Aceite Silicón		Tolueno	
T	Ap	T	Ap	T	Ap	T	Ap	T	Ap	T	Ap	T	Ap
0	11	0	72	0	79	0	107	0	28	0	42	0	48
1	12	1	73	1	79	1	106	1	28	1	42	1	51
3	12	3	73	3	78	3	106	3	28	3	42	3	50
5	12	5	71	5	78	5	106	5	28	5	42	5	53
10	13	10	78	10	78	10	106	10	28	10	42	10	51
15	14	15	80	15	79	15	105	15	28	15	43	15	53
20	16	20	84	20	82	20	106	20	28	20	42	20	54
24	16	24	91	35	94	31	110	26	28	332	42	34	55
-	-	39	110	51	109	65	137	31	27	-	-	54	55
-	-	51	123	71	128	79	147	36	28	-	-	86	61
-	-	70	142	91	144	94	161	42	28	-	-	130	65
		88	158	111	156	106	173	47	28	-	-	-	-
-	-	-	-	131	167	118	181	108	28	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	122	28	-	-	-	-

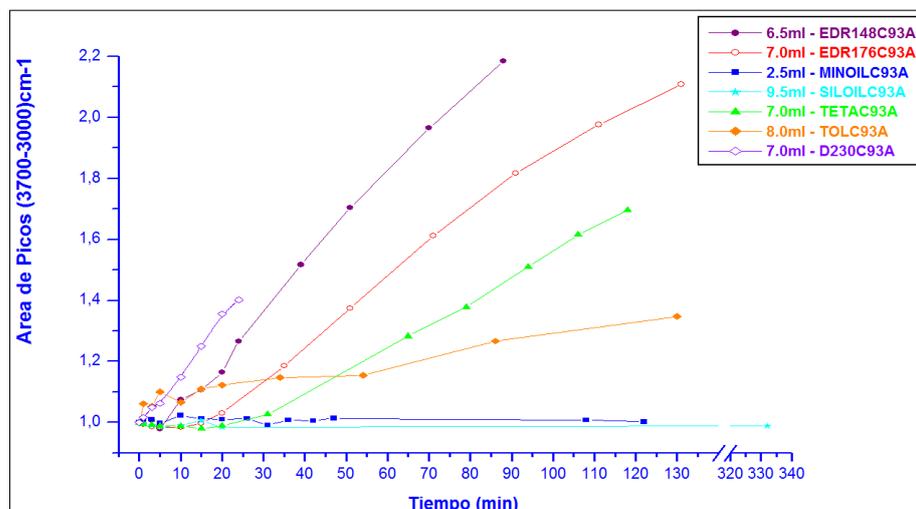


FIGURA 4.12. PICOS NORMALIZADOS DE C93A EN MEDIOS LÍQUIDOS VS TIEMPO

Como se puede apreciar en la figura tanto el aceite mineral como el de silicón no presentan interacción molecular apreciable con la arcilla C93A en la banda correspondiente a la amina primaria, con esto se comprueban que las viscosidades de ambos son los factores que influyeron en los tiempos, velocidades de asentamiento y diámetros hidrodinámicos, en cuanto al tolueno se aprecia una leve interacción la cual es baja comparada con las aminas, por lo que la evaporación prevalece como factor influyente en el aumento de concentración de amina primaria, enfocando el análisis en el grupo de aminas se pudo apreciar que la EDR-148 tuvo mayor absorbancia en un corto espacio de tiempo mientras que la EDR-176 tuvo una absorbancia menor pero en un espacio

de tiempo mayor seguido por la TETA y D-230, la comparación de absorbancias fue posible debido a la normalización de estas figuras a la unidad.

A continuación se muestran las figuras superpuestas de área de picos de absorbancia con la de asentamientos de cada mezcla analizada con las siguientes relaciones.

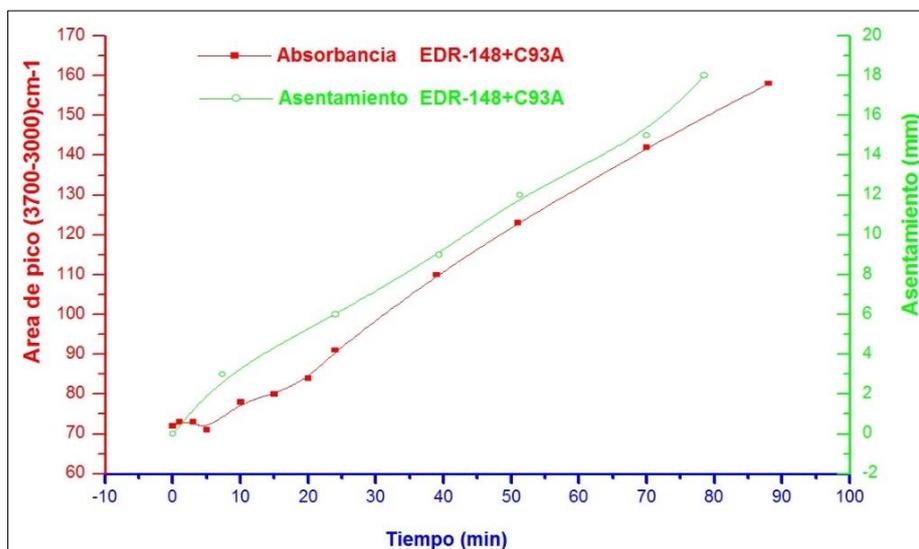


FIGURA 4.13. RELACIÓN ENTRE ASENTAMIENTO Y ABSORBANCIA DE EDR-148 CON C93A

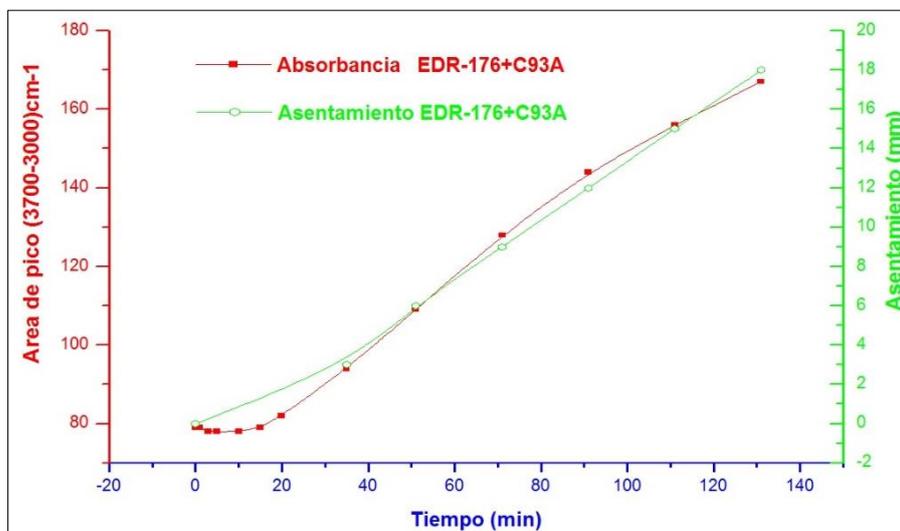


FIGURA 4.14. RELACIÓN ENTRE ASENTAMIENTO Y ABSORBANCIA DE EDR-176 CON C93A

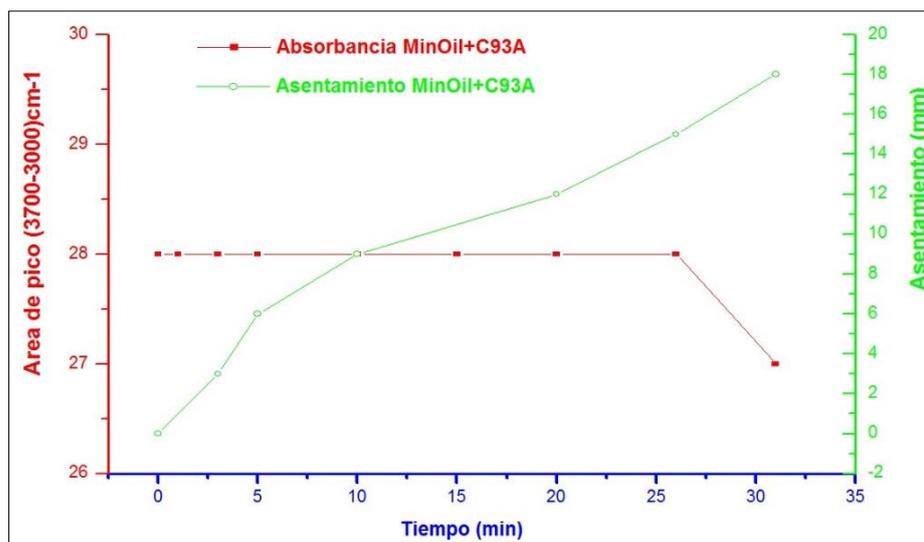


FIGURA 4.15. RELACIÓN ENTRE ASENTAMIENTO Y ABSORBANCIA DE ACEITE MINERAL CON C93A

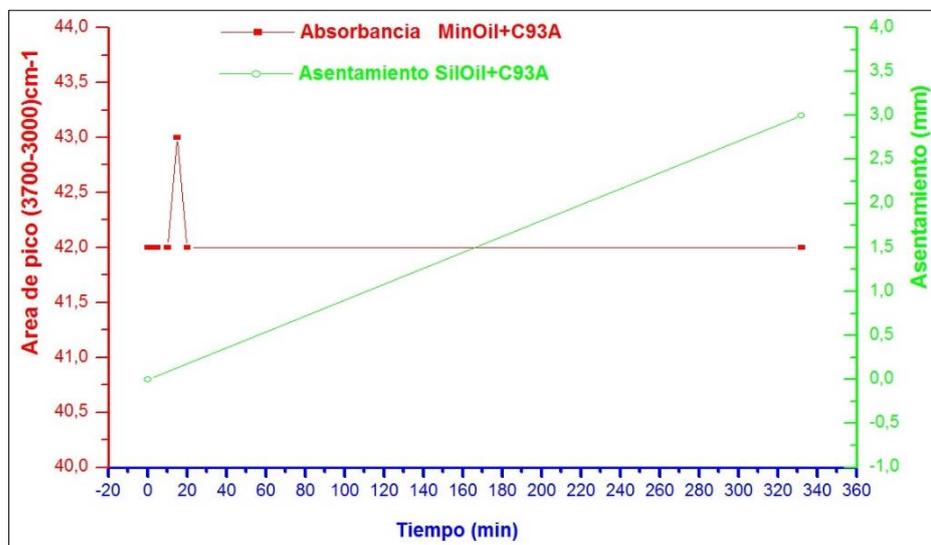


FIGURA 4.16. RELACIÓN ENTRE ASENTAMIENTO Y ABSORBANCIA DE ACEITE DE SILICÓN CON C93A

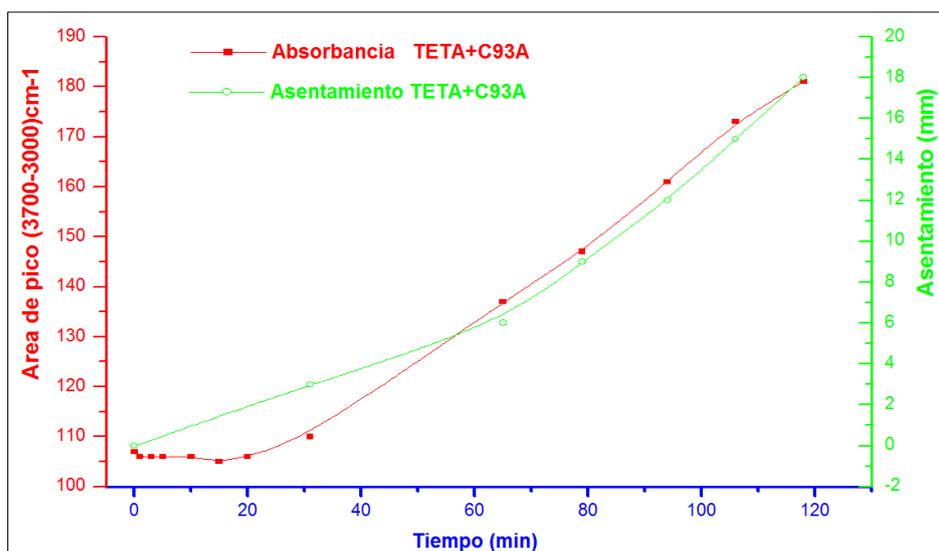


FIGURA 4.17. RELACIÓN ENTRE ASENTAMIENTO Y ABSORBANCIA DE TETA CON C93A

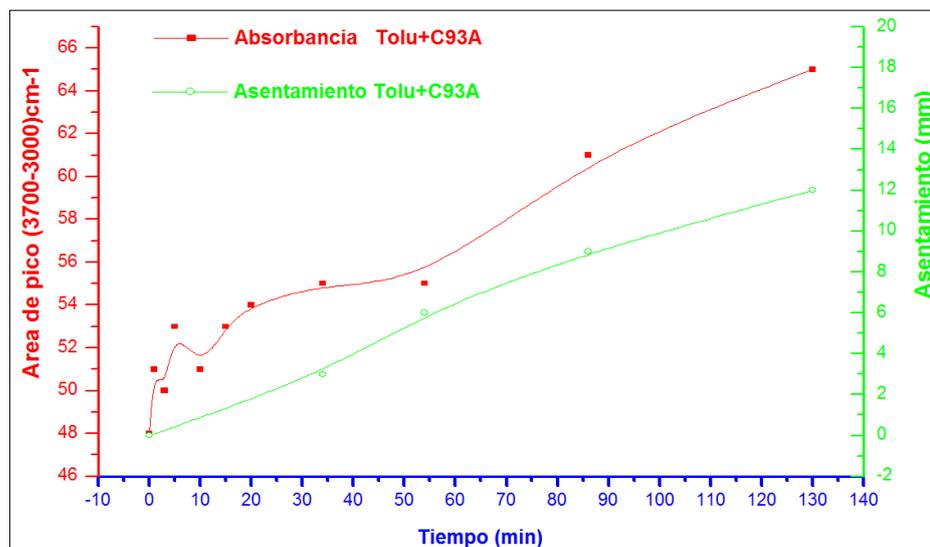


FIGURA 4.18. RELACIÓN ENTRE ASENTAMIENTO Y ABSORBANCIA DE TOLUENO CON C93A

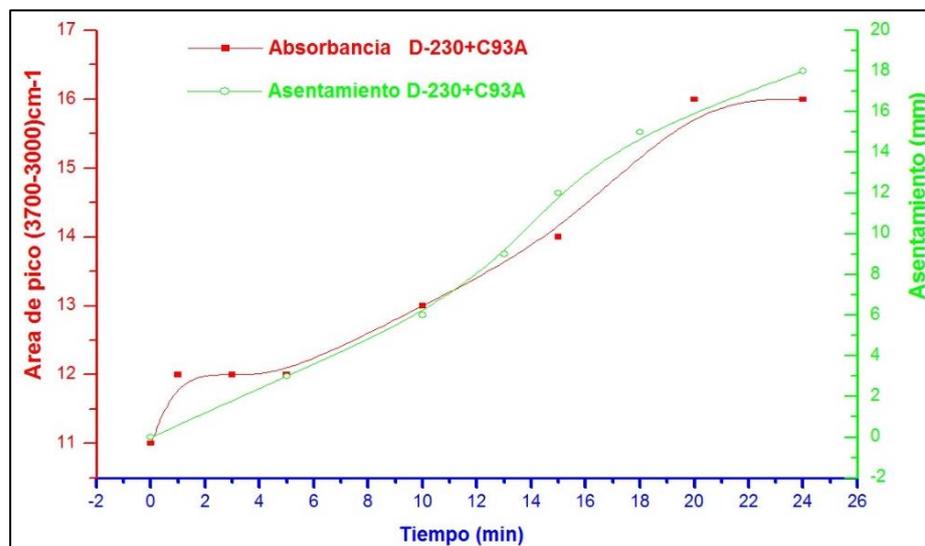


FIGURA 4.19. RELACIÓN ENTRE ASENTAMIENTO Y ABSORBANCIA DE D-230 CON C93A

Analizando las figuras superpuestas de estas propiedades se visualiza claramente una relación paralela casi lineal creciente en las aminas EDR-148, EDR-176, D-230, TETA y Tolueno, lo que indica que los cambios de concentraciones producto de las interacciones moleculares obtenidos de la espectrometría están estrechamente vinculados a los asentamientos visuales, en contraste a esto como se esperaba no existió relación entre las absorbancias y el asentamiento para los aceites de silicón y mineral, por lo que las fuerzas viscosas son las que influyeron en los tiempos, velocidades de asentamientos y diámetros hidrodinámicos.

4.2. Asentamiento de Nanoarcilla e Inhibidor de Corrosión Mezclados con Aminas y Resinas.

Las caracterizaciones obtenidas para esta sección se realizaron en dos grupos de ensayos debido a los componentes empleados, así como para cuantificar el asentamiento de las arcillas en resinas y aminas junto con el efecto del inhibidor de corrosión al ser agregado, bajo el método de caracterización de difracción de rayos x, los datos obtenidos se tabularon, graficaron y analizaron con los programas MICROSOFT EXCELL, X'PERT HIGHSCORE

PLUS, y MICROCAL ORIGIN, los ensayos se agruparon de la siguiente manera:

- Difractometría de rayos x para las mezclas de tres nanoarcillas con resinas y aminos por separado.
- Difractometría de rayos x para las mezclas de nanoarcilla e inhibidor de corrosión con resinas y aminos por separado.

Para este primer grupo se mezclaron las organoarcillas cloisite 20A, 93A, 30B, con las aminos D-230, EDR-148, EDR-176, T-403, TEPA, TETA y las resinas GE-38, GE-40, GE-60 y EPON828, la finalidad de este ensayo fue de obtener información acerca de estas tres arcillas para analizar la que mayor espaciamiento basal reflejado en las amplitudes de picos de absorbancia de las figuras obtenidas con cada difractometría junto con el ángulo de difracción, se emplearon estos indicadores para cuantificar el grado de intercalación de los silicatos presentes en la arcilla asociados con las cadenas poliméricas de las aminos y resinas, para el escenario de exfoliación resultó difícil concretar si la mezcla resultó o no ser exfoliada, debido al asentamiento de la arcilla en la muestra, algunas figuras no presentaron difracciones por este efecto, los resultados obtenidos se muestran tabulados y graficados a continuación.

TABLA 5
PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN AMINAS Y
RESINAS

Mezcla	1era. Pos. 2 θ (°)	Amp.	2da. Pos. 2 θ (°)	Amp.	3era. Pos. 2 θ (°)	Amp.
D-230+C20A	2.33	37.87	4.60	19.20	-	-
D-230+C30B	4.67	18.90	-	-	-	-
D-230+C93A	4.86	18.18	-	-	-	-
EDR-148+C20A	2.57	34.32	5.09	17.35	-	-
EDR-148+C30B	5.17	17.07	-	-	-	-
EDR-148+C93A	5.03	17.55	-	-	-	-
EDR-176+C20A	2.38	37.15	4.96	17.84	-	-
EDR-176+C30B	2.52	35.01	5.02	17.59	-	-
EDR-176+C93A	4.58	19.29	-	-	-	-
T-403+C20A	2.46	35.86	4.39	20.13	-	-
T-403+C30B	4.57	18.58	-	-	-	-
T-403+C93A	3.62	24.40	-	-	-	-
TEPA+C20A	2.35	37.61	4.84	18.26	-	-
TEPA+C30B	2.45	36.05	5.14	17.20	-	-
TEPA+C93A	5.50	16.06	-	-	-	-
TETA+C20A	2.39	37.02	-	-	-	-
TETA+C30B	5.43	16.26	-	-	-	-
TETA+C93A	6.17	14.32	-	-	-	-
GE-60+C20A	2.22	39.86	4.84	18.26	-	-
GE-60+C30B	2.57	34.42	5.06	17.47	-	-
GE-60+C93A	2.42	36.53	4.81	18.38	-	-
GE-40+C20A	2.69	32.81	5.52	16.00	-	-
GE-40+C30B	2.21	40.00	5.13	17.24	-	-
GE-40+C93A	-	-	-	-	-	-
GE-38+C20A	2.59	34.16	5.14	17.19	-	-
GE-38+C30B	5.00	17.65	-	-	-	-
GE-38+C93A	-	-	-	-	-	-
EPON-828+C20A	2.58	34.26	5.08	17.41	-	-
EPON-828+C30B	2.45	36.09	4.96	17.82	7.34	12.05
EPON-828+C93A	2.77	31.90	5.28	16.73	7.78	11.36

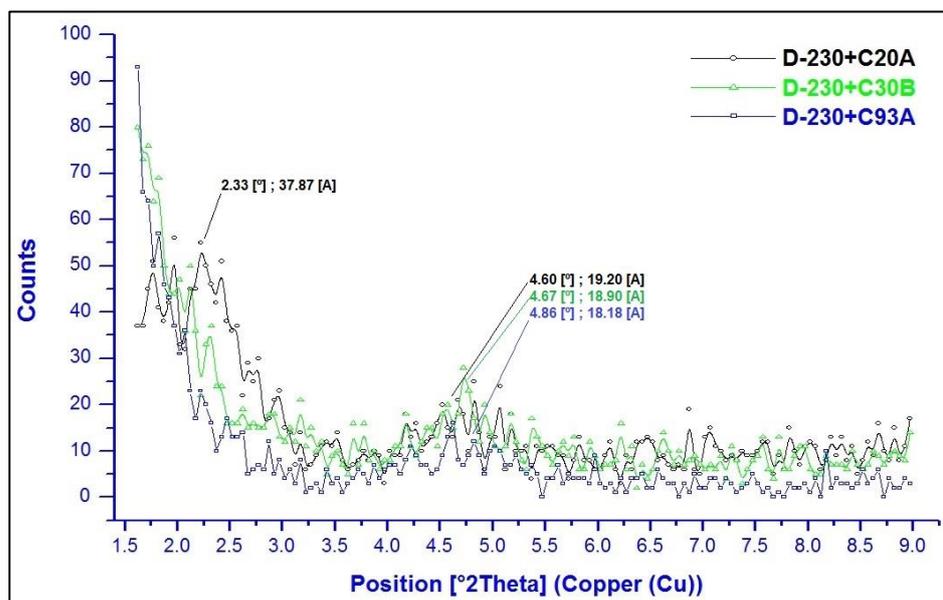


FIGURA 4.20. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN AMINA D-230

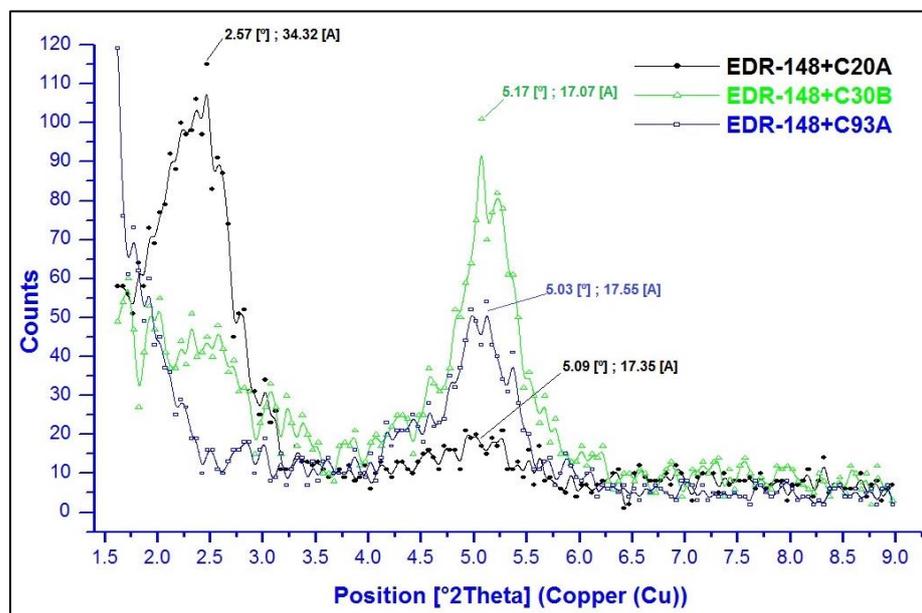


FIGURA 4.21. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN AMINA EDR-148

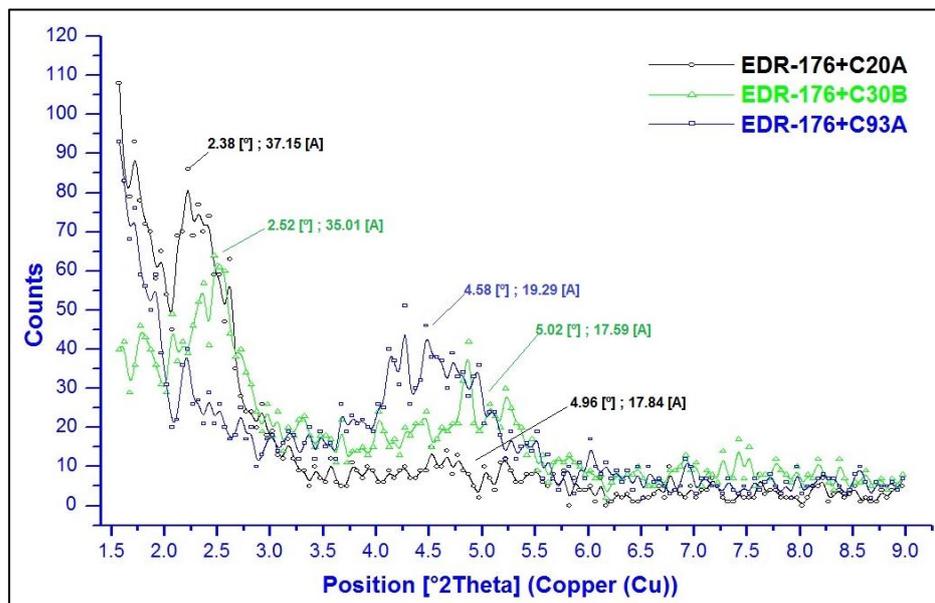


FIGURA 4.22. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN AMINA EDR-176

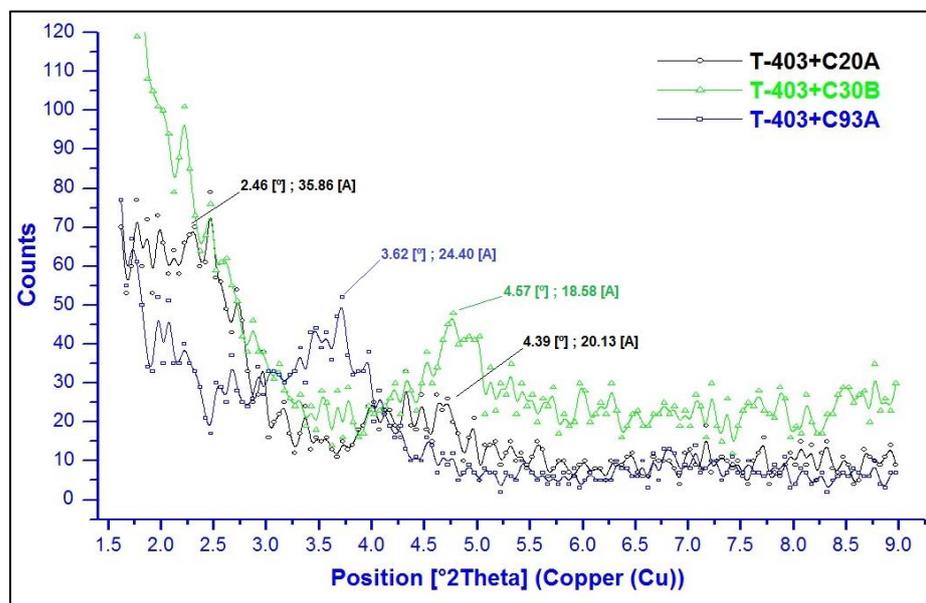


FIGURA 4.23. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN AMINA T-403

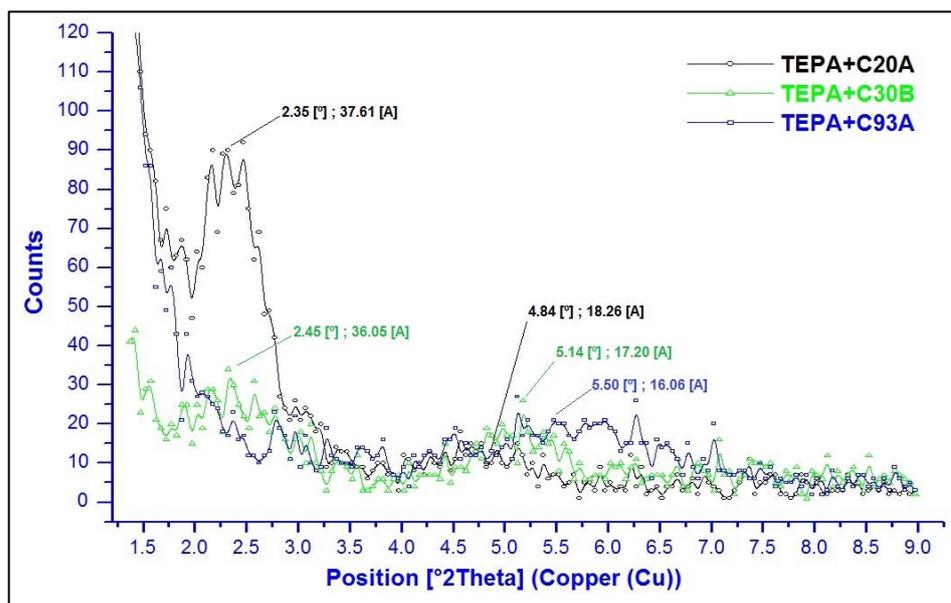


FIGURA 4.24. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN AMINA TEPA

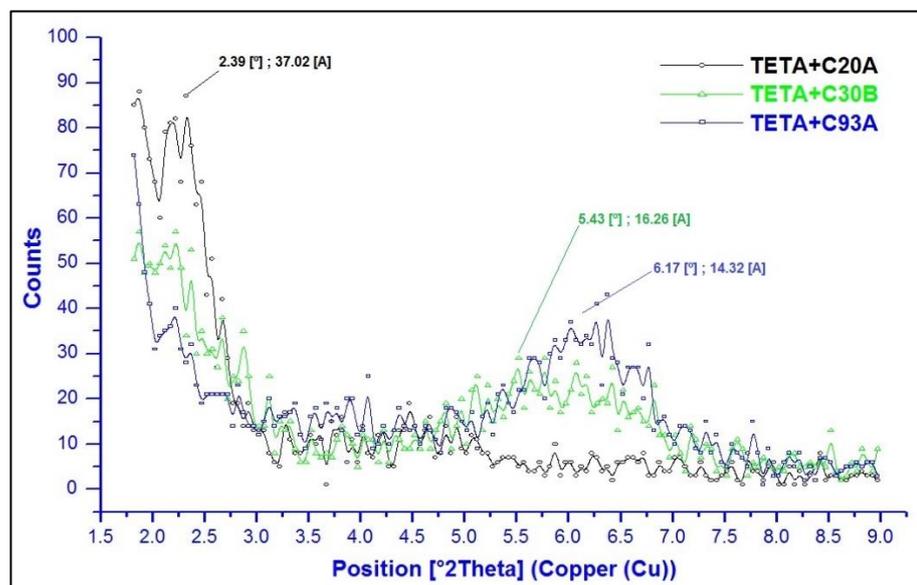


FIGURA 4.25. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN AMINA TETA

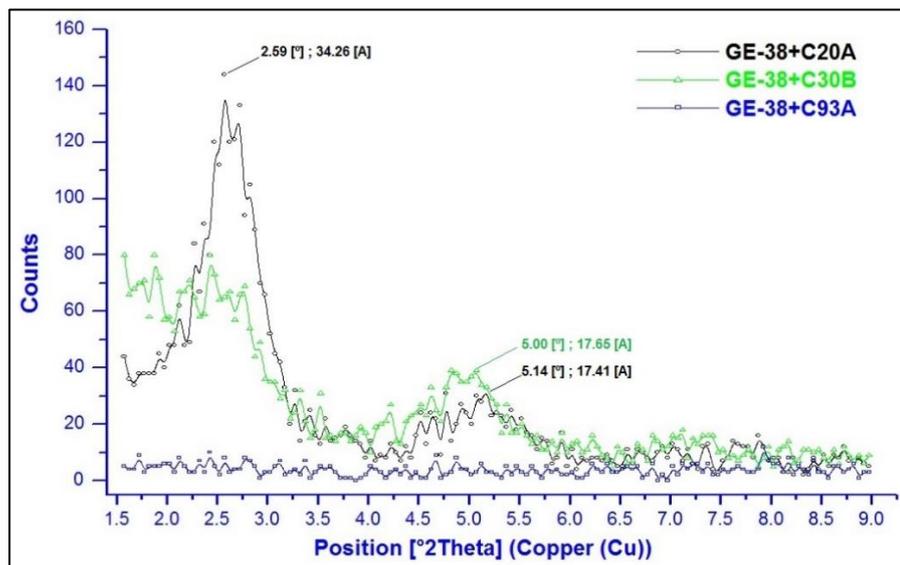


FIGURA 4.26. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN RESINA GE-38

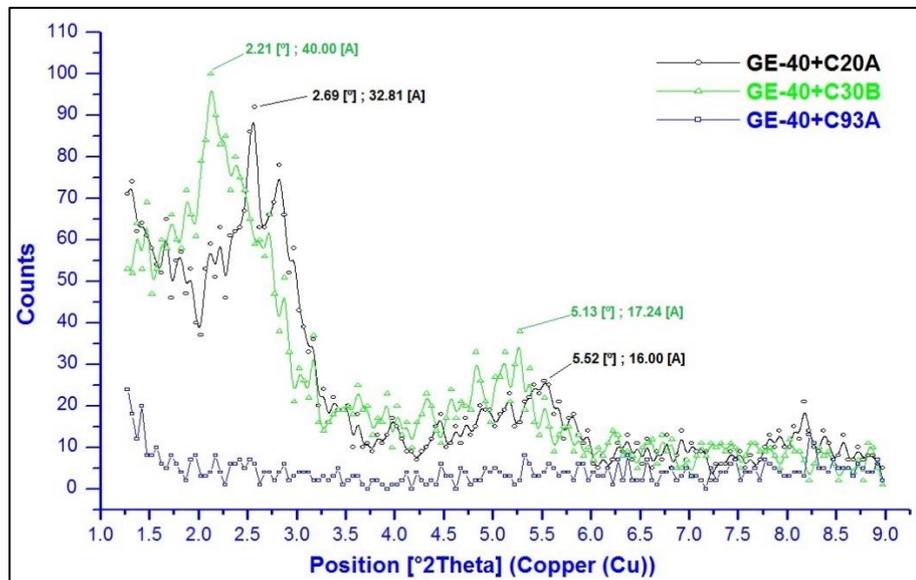


FIGURA 4.27. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN RESINA GE-40

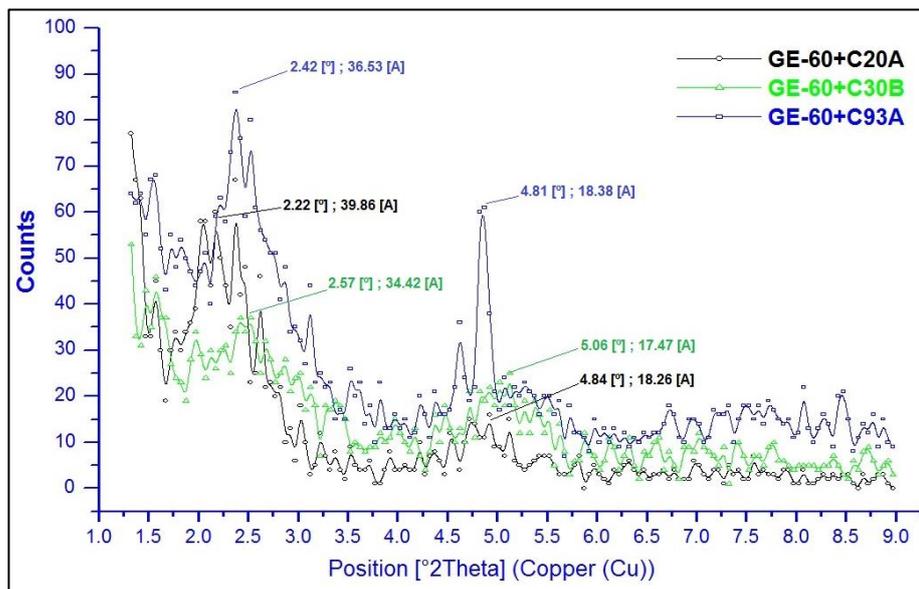


FIGURA 4.28. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN RESINA GE-60

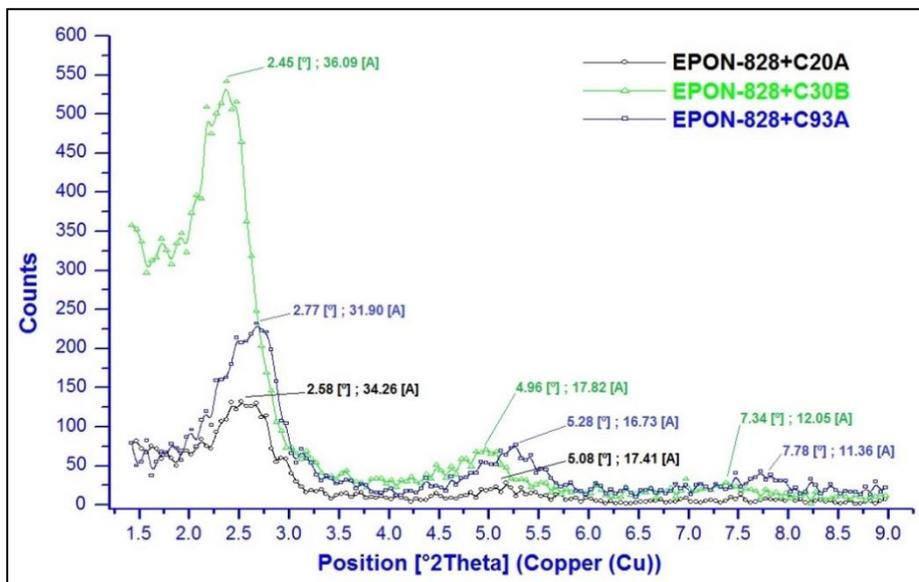


FIGURA 4.29. PICOS CARACTERÍSTICOS DE ARCILLAS EN RESINA EPON-828

Al comparar las amplitudes de onda obtenidas se pudo notar claramente que las mayores amplitudes registradas corresponden a las mezclas realizadas con la arcilla cloisite 20A tanto en aminas como resinas, lo que le confiere la mejor compatibilidad comparadas a las otras arcillas, esta misma C20A con la amina D-230 obtuvo el mayor espaciamiento, en el grupo de resinas se obtuvo la mayor amplitud con la C30B y la GE-40, centrando el análisis con la arcilla C93A para el grupo de aminas se obtuvo la mayor amplitud con la T-403, mientras que las figuras obtenidas de la GE-40 y GE-38 no presentaron difracciones lo que plantea una posible mezcla exfoliada, estas amplitudes están dada en angstrom y se relaciona con el diámetro hidrodinámico obtenido en el ensayo anterior, ambos como indicadores de compatibilidad y dispersión.

Para esta segundo grupo el análisis realizado es similar al anterior descrito, sumando el efecto que tuvo el inhibidor de corrosión RM210 en las difracciones con una presencia del 4% de la masa total añadida, con la cloisite 93A en un 20% de la masa total, mezclados con las aminas D-230, EDR-148, EDR-176, T-403, TEPA, TETA y las resinas GE-38, GE-40, GE-60, EPON828.

De las figuras obtenidas del XRD se registraron los parámetros de amplitud de pico y ángulo de difracción como indicadores para cuantificar el espaciamiento basal de los silicatos de la arcilla asociadas con las cadenas de polímeros de las aminas y resinas junto con el inhibidor de corrosión, estos datos fueron comparados con las amplitudes y ángulos obtenidos del primer grupo sin inhibidor, todos estos resultados se muestran tabulados y graficados a continuación.

TABLA 6
PICOS CARACTERÍSTICOS DE MEZCLA DE C93A Y RM-210
CON RESINAS Y AMINAS

Muestra	1era. Pos. $2\theta(^{\circ})$	Amp.	2da. Pos. $2\theta(^{\circ})$	Amp.
D-230+C93A+RM-210	4.76	18.53	-	-
EDR-148+C93A+RM-210	5.29	16.69	-	-
EDR-176+C93A+RM-210	5.16	17.11	-	-
T-403+C93A+RM-210	3.97	22.26	-	-
TEPA+C93A+RM-210	-	-	-	-
TETA+C93A+RM-210	6.63	13.32	-	-
GE-60+C93A+RM-210	-	-	-	-
GE-40+C93A+RM-210	5.02	17.59	-	-
GE-38+C93A+RM-210	-	-	-	-
EPON-828+C93A+RM-210	2.71	32.64	5.43	16.28

TABLA 7
PICOS CARACTERÍSTICOS DE MEZCLA DE C93A CON
RESINAS Y AMINAS

Mezcla	1era. Pos. $2\theta(^{\circ})$	Amp.	2da. Pos. $2\theta(^{\circ})$	Amp.	3era. Pos. $2\theta(^{\circ})$	Amp.
D-230+C93A	4.86	18.18	-	-	-	-
EDR-148+C93A	5.03	17.55	-	-	-	-
EDR-176+C93	4.58	19.29	-	-	-	-
T-403+C93A	3.62	24.40	-	-	-	-
TEPA+C93A	5.50	16.06	-	-	-	-
TETA+C93A	6.17	14.32	-	-	-	-
GE-60+C93A	2.42	36.53	4.81	18.38	-	-
GE-40+C93A	-	-	-	-	-	-
GE-38+C93A	-	-	-	-	-	-
EPON-828+C93A	2.77	31.90	5.28	16.73	7.78	11.36

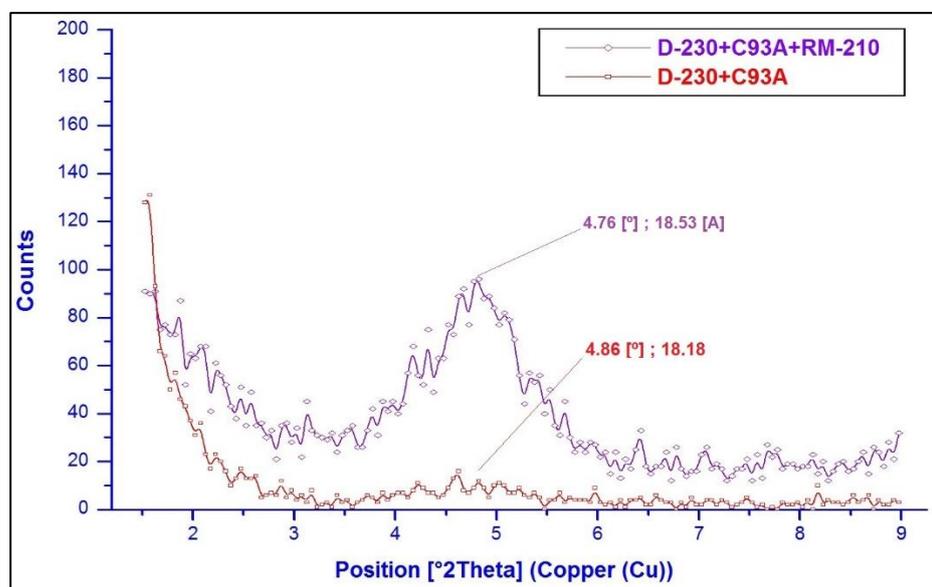


FIGURA 4.30. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN
D-230 CON RM-210

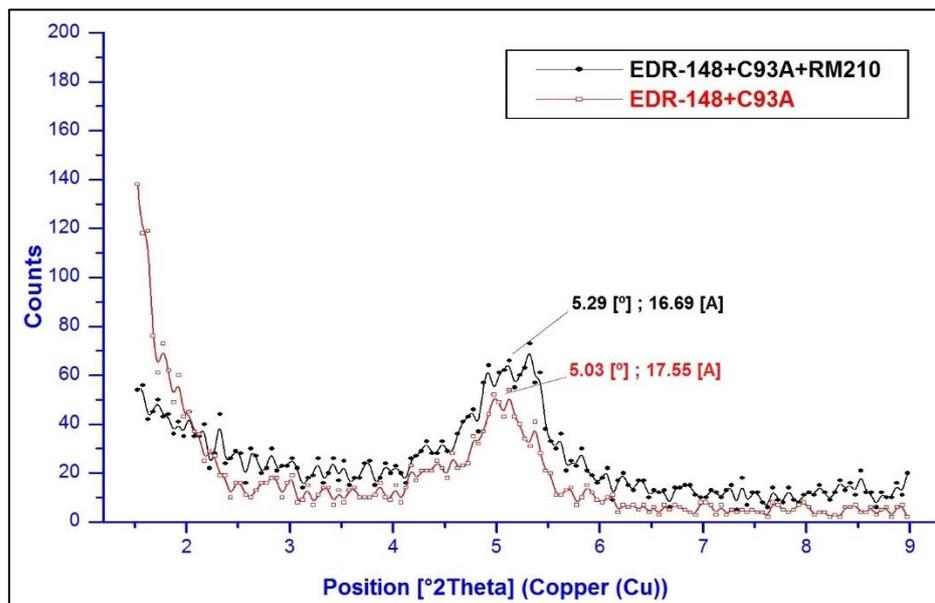


FIGURA 4.31. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN EDR-148 CON RM-210

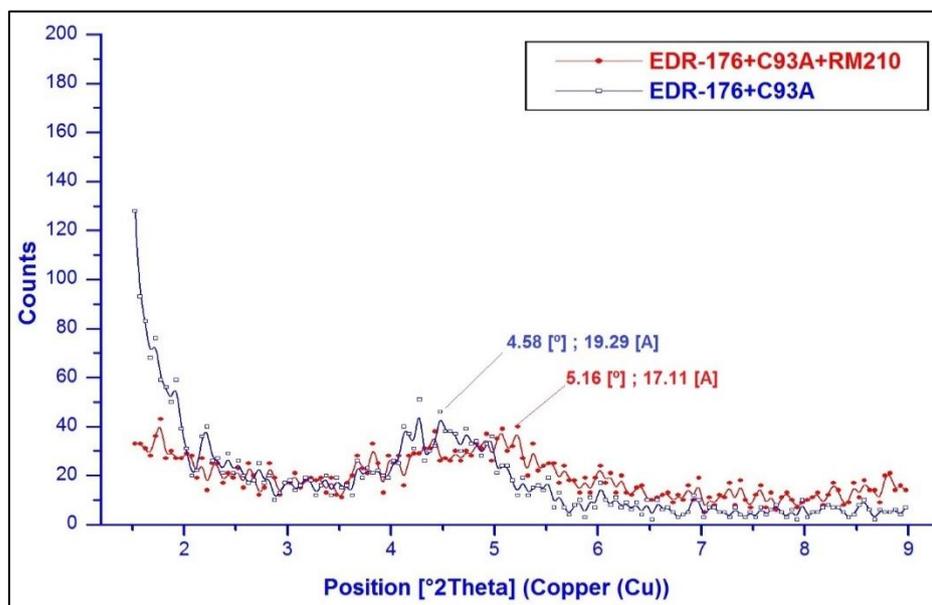


FIGURA 4.32. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN EDR-176 CON RM-210

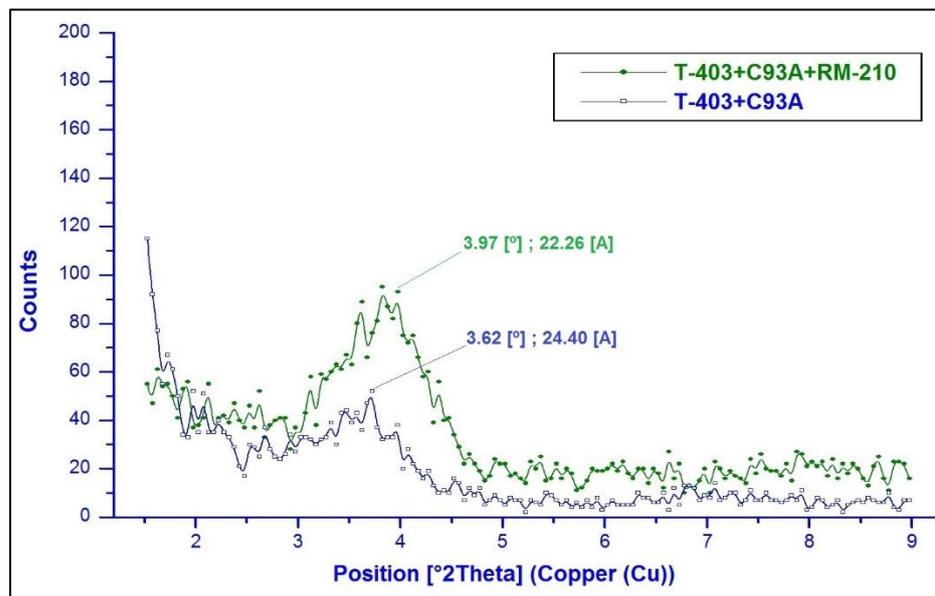


FIGURA 4.33. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN T-403 CON RM-210

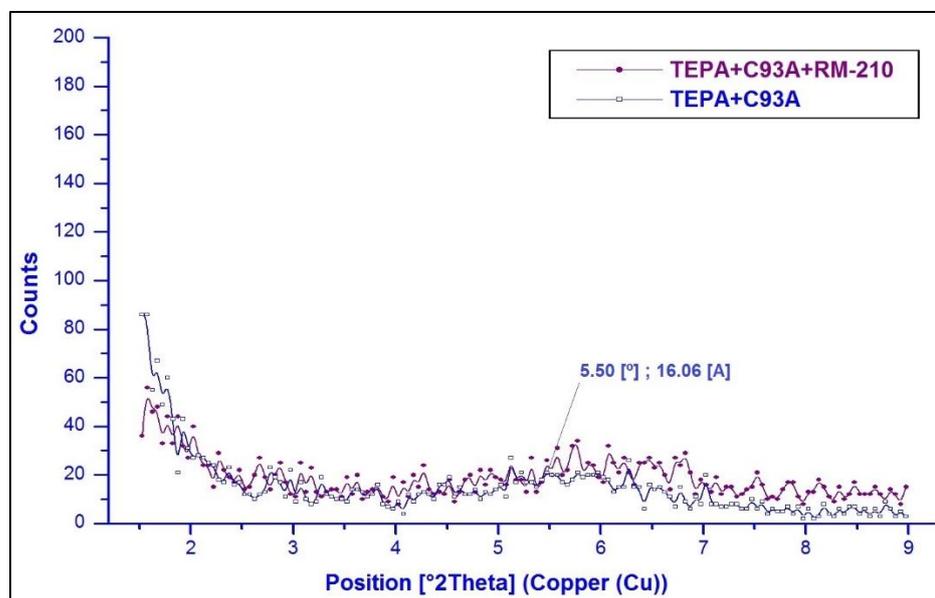


FIGURA 4.34. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN TEPA CON RM-210

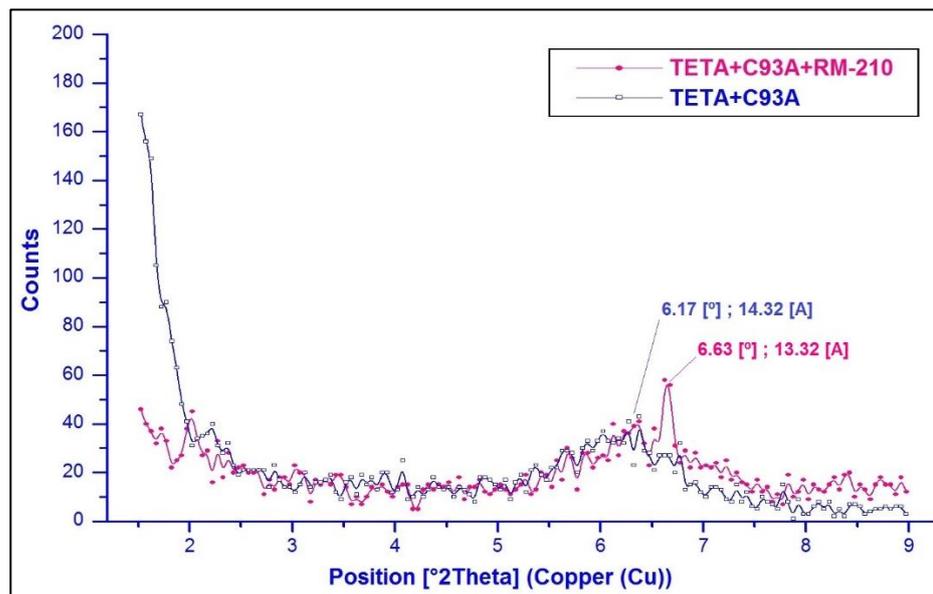


FIGURA 4.35. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN TETA CON RM-210

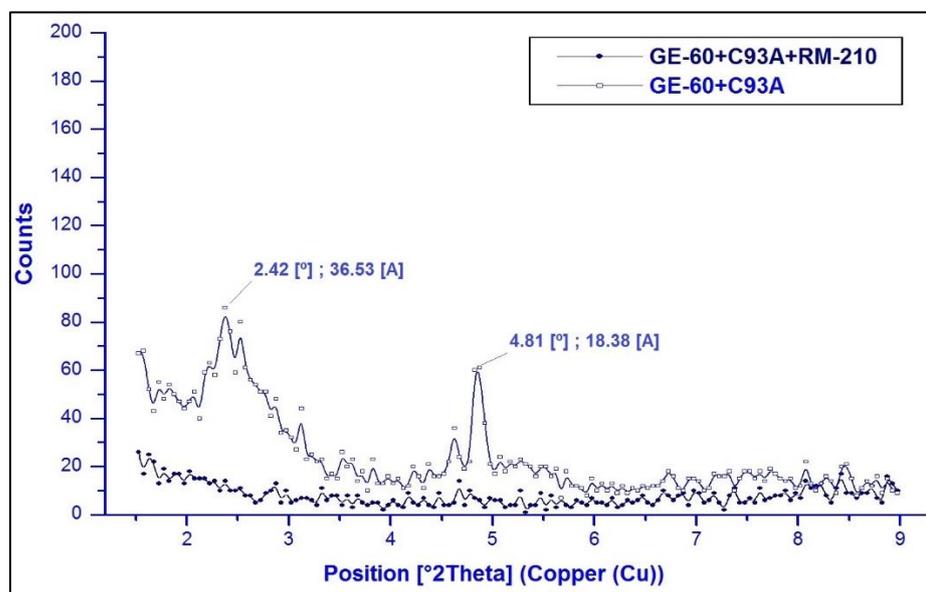
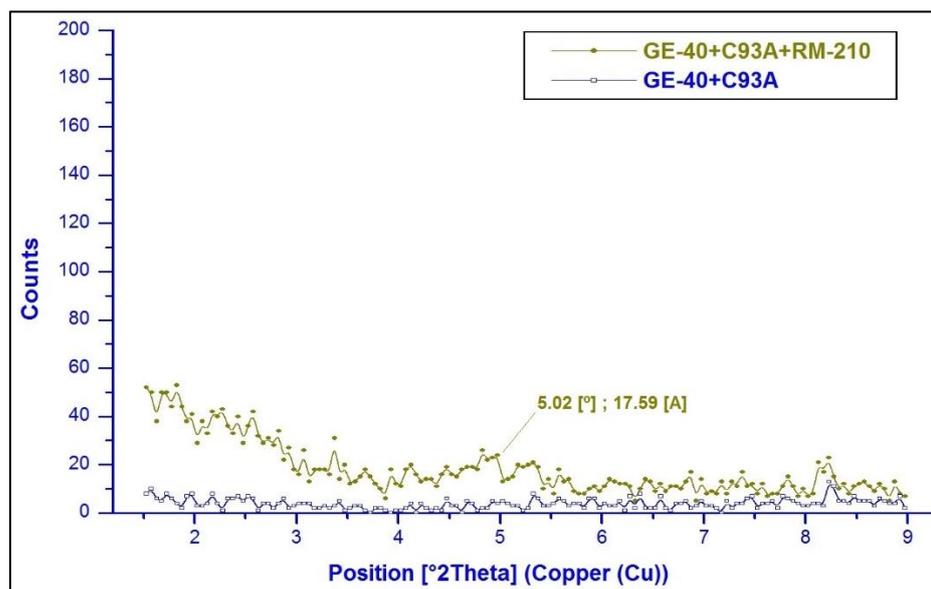
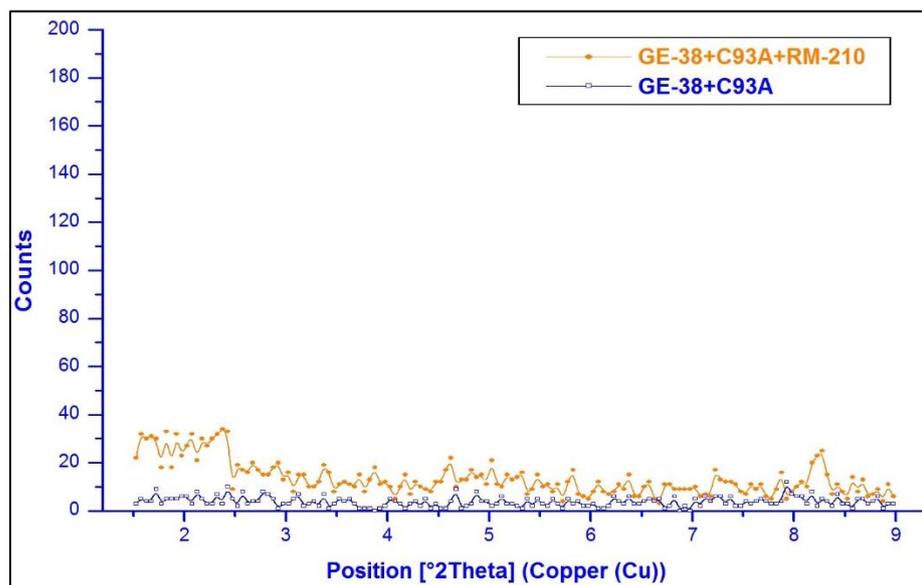


FIGURA 4.36. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN GE-60 CON RM-210



**FIGURA 4.37. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN
GE-40 CON RM-210**



**FIGURA 4.38. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN
GE-38 CON RM-210**

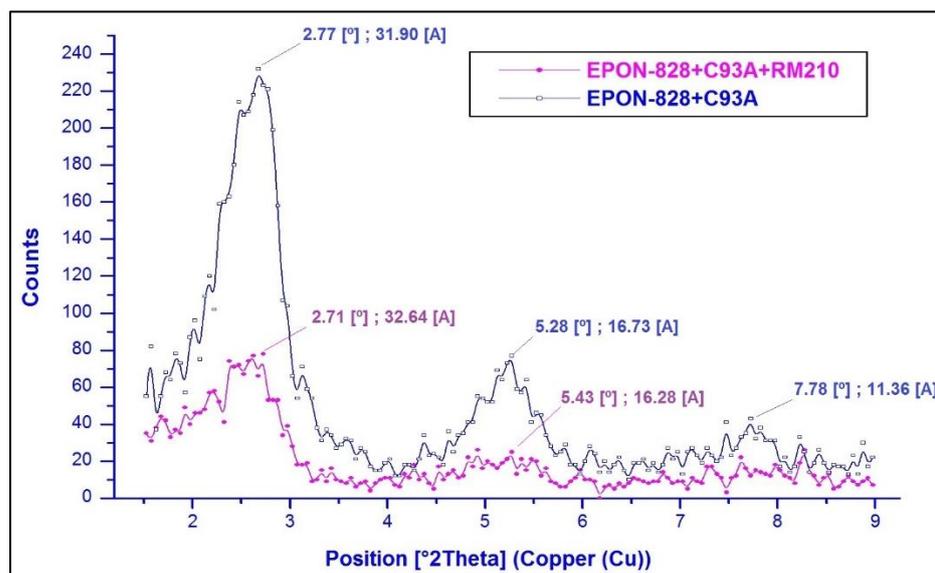


FIGURA 4.39. PICOS CARACTERÍSTICOS DE C93A EN EPON-828 CON RM-210

Se pudo apreciar que el inhibidor en el grupo de aminas produjo un ligero desplazamiento en el ángulo de difracción aumentándolo mientras que la amplitud se vio mermada en cierta cantidad produciendo un efecto de aplastamiento de los silicatos, la D-230 mostró cierto aumento en su amplitud por lo que se favoreció la intercalación, para la amina TEPA no se obtuvo ninguna difracción la curva se presentó sin picos, lo que denota exfoliación por parte de la arcilla, una situación similar ocurrió para la resina GE-60 la figura indica que es una mezcla exfoliada, la GE-38 conserva su característica de exfoliación aun con el inhibidor, para la EPON-828 no se registró mucha variabilidad para la amplitud y ángulo de

posición, en cambio con la resina GE-40 se obtuvo un pico representativo el cual no se registró sin el inhibidor por lo que en este caso la arcilla se intercaló. Estos resultados muestran que la influencia del inhibidor en la aminas no es colaborativa para fomentar la exfoliación a excepción de la TEPA, para las resinas tuvo efecto dual al presentar intercalación para la GE-40 y de exfoliación para la GE-60, para las dos restantes no tuvo mayor efecto en las figuras de difracción.

4.3. Efecto del Inhibidor de Corrosión en la Reacción del Curado de las Resinas Epóxicas.

Se analizaron las áreas de dos picos característicos de los grupos funcionales, que fueron la amina primaria entre 5000-5300 cm^{-1} y el epóxico entre 4600-4450 cm^{-1} , como indicadores del proceso de curado, para lo cual fue empleado el método de caracterización de transmisión en el que el espectro infrarrojo atravesó la muestra contenida entre placas de vidrio, mientras se daba el curado cada cierto tiempo durante 24 horas, se emplearon tres muestras con porcentajes distintos del 1%, 3% y 5% en masa añadida de inhibidor RM-210 a la resina GE-60, los datos obtenidos se tabularon y analizaron con los programas OMINIC, MICROSOFT

EXCELL y MICROCAL ORIGIN, las figuras de espectrofotometría infrarroja se presentan a continuación:

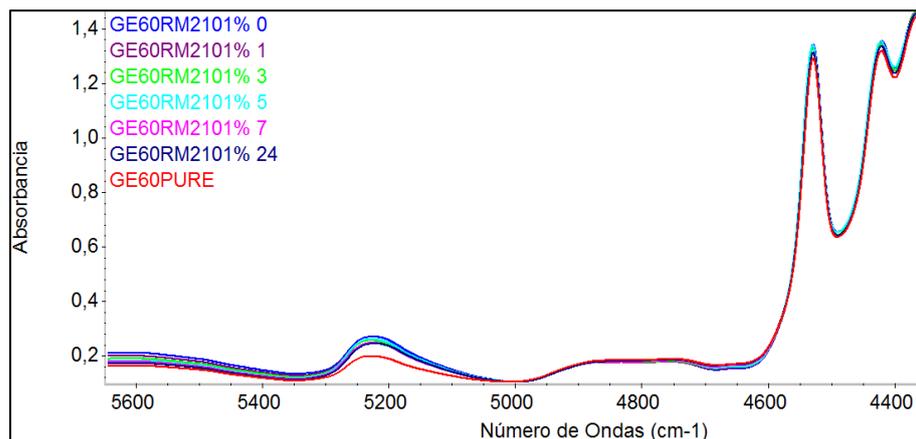


FIGURA 4.40. PICOS CARACTERÍSTICOS DE AMINA PRIMARIA Y EPÓXICO DE GE-60 CON 1% DE RM-210

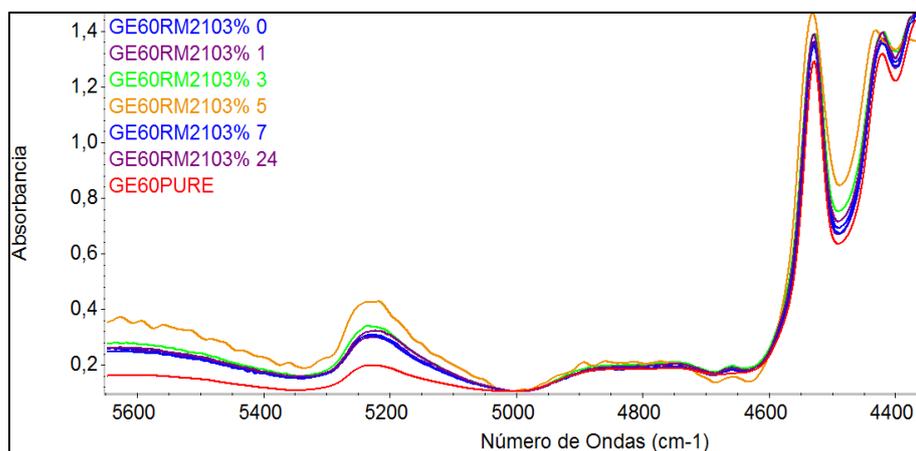


FIGURA 4.41. PICOS CARACTERÍSTICOS DE AMINA PRIMARIA Y EPÓXICO DE GE-60 CON 3% DE RM-210

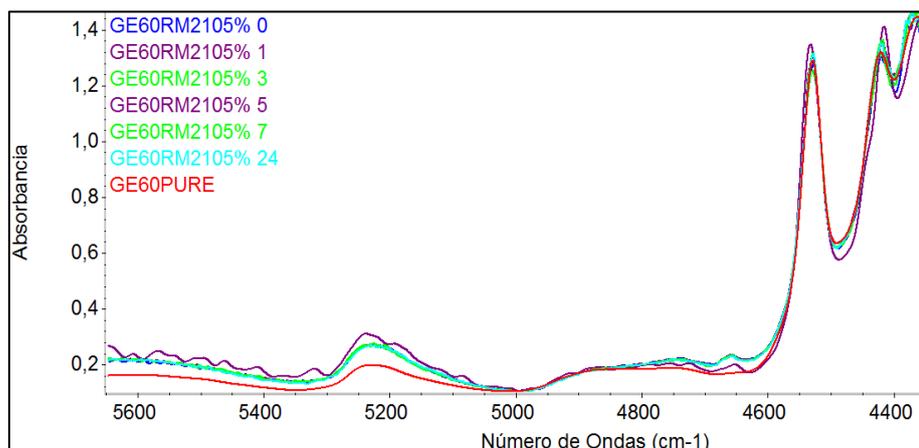


FIGURA 4.42. PICOS CARACTERÍSTICOS DE AMINA PRIMARIA Y EPÓXICO DE GE-60 CON 5% DE RM-210

Las figuras 4.40, 4.41, 4.42 muestran como el aumento de inhibidor en la resina produce un aumento en los picos de absorbancia correspondientes a las longitudes de onda de interés según el procedimiento Near-IR, en comparación con la curva de resina pura se ve claramente una interacción en esta bandas, al realizarse el análisis cuantitativo de las áreas de picos de absorbancia se obtuvieron estos valores considerados para determinar el efecto del inhibidor de corrosión en la resina epóxico, los cuales se muestran tabulados y graficados a continuación.

TABLA 8

PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60 CON RM-210

T (hr)	GE-60+RM-210 1%		GE-60+RM-210 3%		GE-60+RM-210 5%	
	Ap	Ep	Ap	Ep	Ap	Ep
0	16.998	27.006	17.548	23.931	18.250	28.774
1	17.267	27.847	17.817	25.344	18.342	28.325
3	17.202	27.956	16.643	20.33	18.833	27.715
5	17.406	26.737	16.648	17.695	17.732	31.352
7	17.477	28.379	17.712	25.058	18.813	28.189
24	17.662	28.286	17.498	22.840	19.043	29.105
GE-60	12.208	29.089	12.208	29.089	12.208	29.089

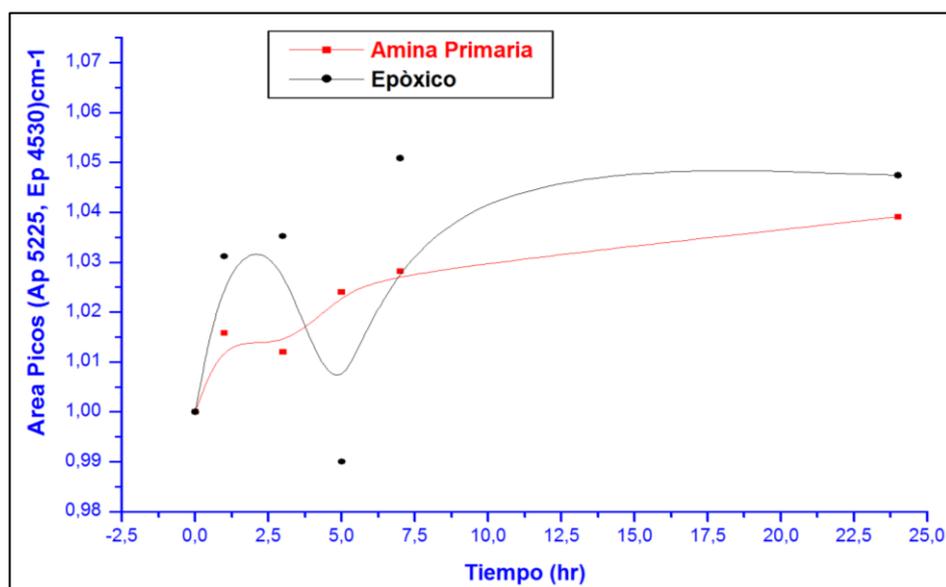


FIGURA 4.43. ÁREAS NORMALIZADAS DE PICOS DE AP Y EP DE GE-60 CON 1% DE RM-210 VS TIEMPO

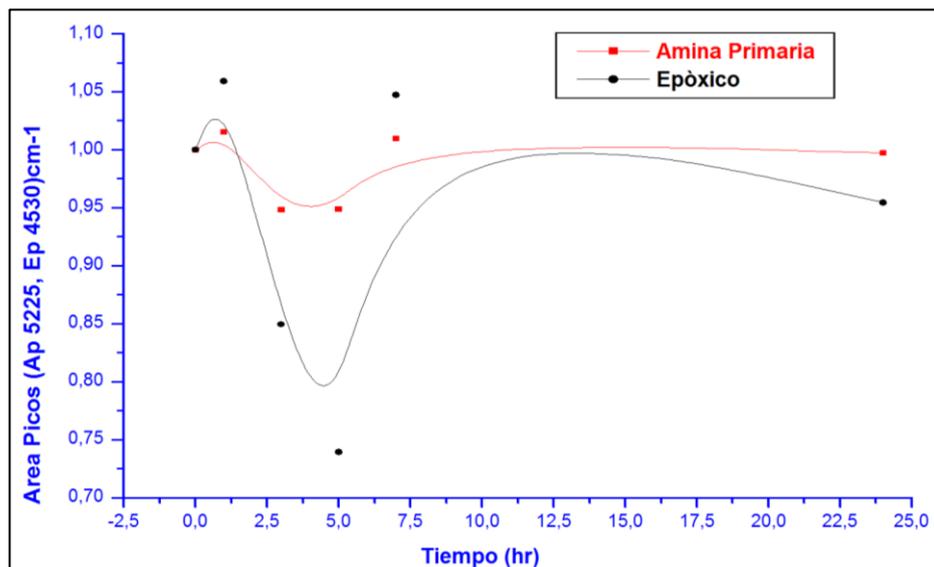


FIGURA 4.44. ÁREAS NORMALIZADAS DE PICOS DE AP Y EP DE GE-60 CON 3% DE RM-210 VS TIEMPO

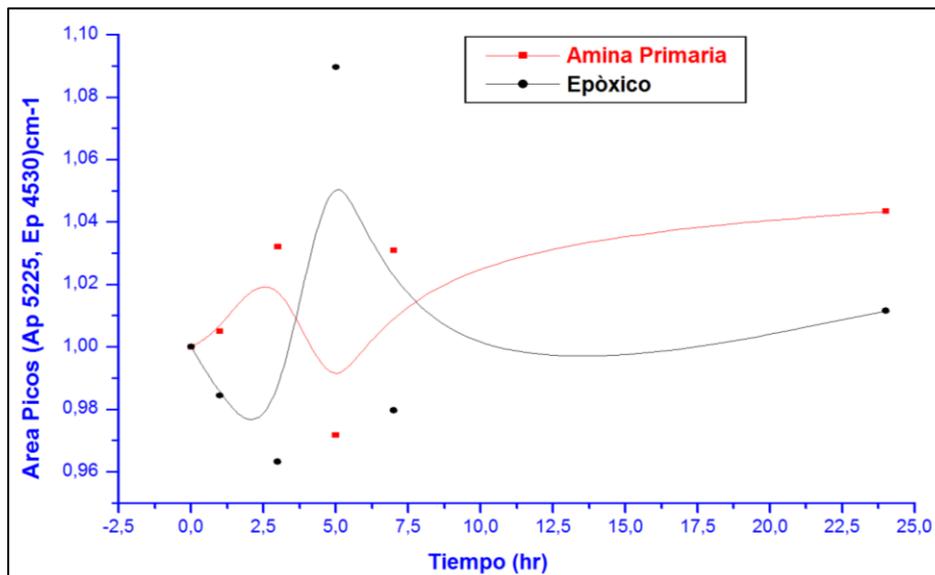


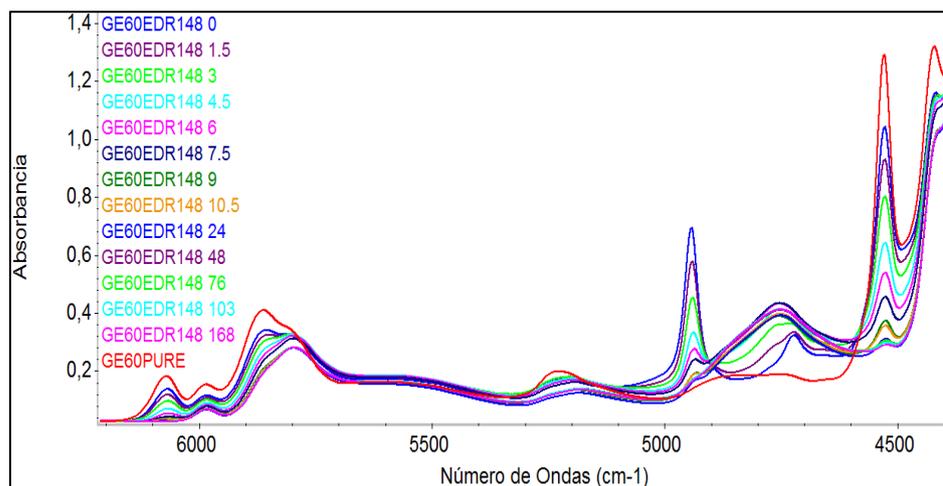
FIGURA 4.45. ÁREAS NORMALIZADAS DE PICOS DE AP Y EP DE GE-60 CON 5% DE RM-210 VS TIEMPO

Se pudo apreciar que el inhibidor de corrosión si bien al mezclarse con la resina GE-60 aumentó la concentración de amina primaria y mermó la presencia de epóxico al inicio, no se ve mayor efecto o variación en las absorbancias obtenidas dentro del lapso de 24 horas, cabe destacar que a mayor cantidad de inhibidor agregado a la mezcla se produce un aumento en el valor promedio de concentración de amina primaria presente en la mezcla. Por consiguiente estos resultados muestran que el efecto del inhibidor al mezclarse solo con la resina GE-60 favorece al aumento de amina primaria disponible que puede convertirse a amina secundaria y terciaria si se combinara con el curador.

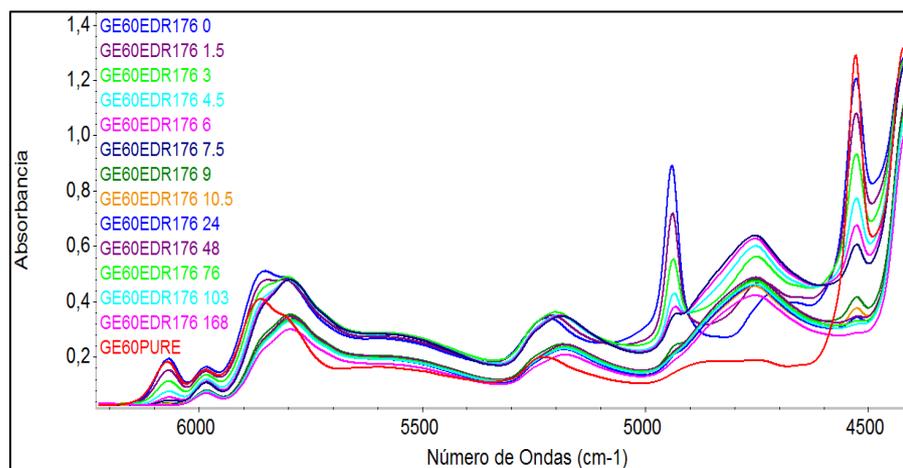
4.4. Curado de Mezcla de Resina Epóxica con Aminas.

Para este ensayo se monitoreó y analizó las áreas de los picos característicos correspondientes al grupo de amina primaria y grupo epóxico, los mismos que al mezclarse con el curador debido a la reacción química se produjo la solidificación de la mezcla, esto se reflejó en la disminución de los picos de absorbancia obtenidos del FTIR, cada escaneo realizado estuvo dentro del rango de longitudes de onda entre 7500 a 4000 cm^{-1} enfocándose el análisis en la disminución del pico de amina primaria (4935 cm^{-1}) y epóxico

(4520 cm^{-1}) junto con un pico referencial (6000 cm^{-1}), por medio de la ecuaciones ya descritas se obtiene la conversión de amina primaria y epóxico en amina secundaria y terciaria, se emplearon la resina GE-60 y los curadores EDR-148, EDR-176, D-230, T-403, TETA, TEPA, los datos obtenidos se tabularon y analizaron con los programas OMINIC, MICROSOFT EXCELL y MICROCAL ORIGIN, las figuras de espectrometría infrarroja se muestran a continuación.



**FIGURA 4.46. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60
CON EDR-148**



**FIGURA 4.47. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60
CON EDR-176**

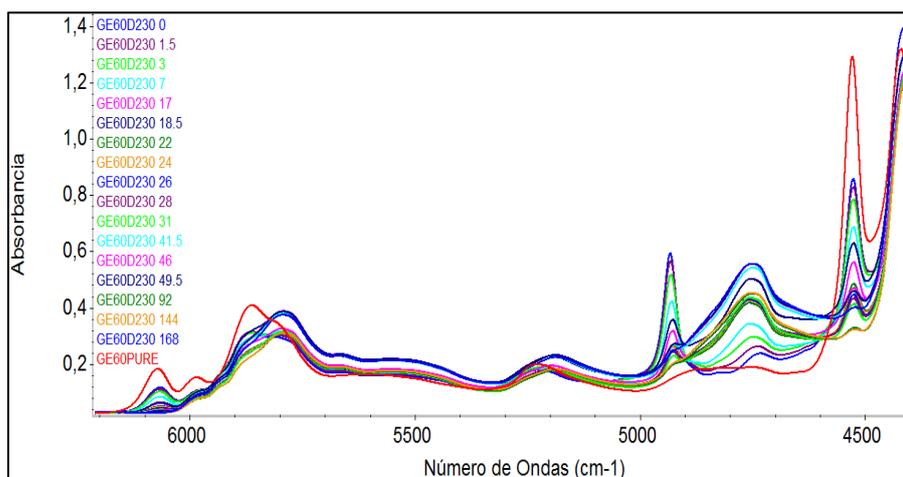


FIGURA 4.48. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60 CON D-230

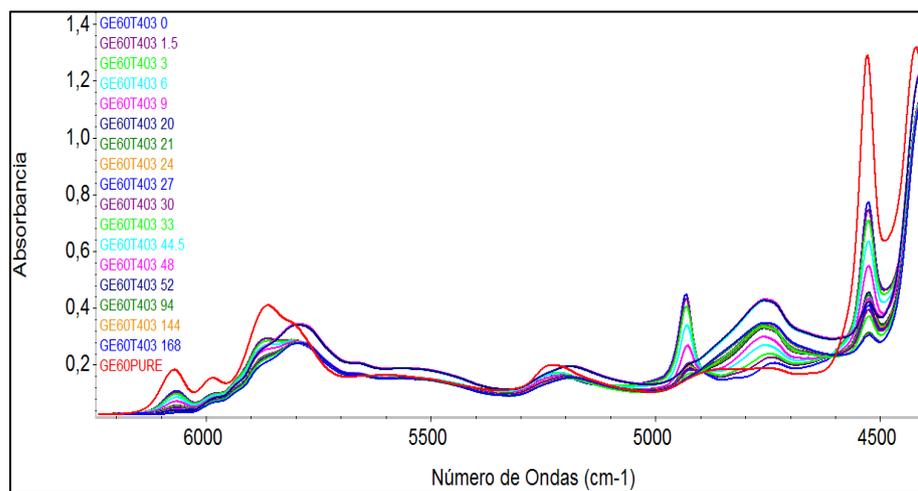


FIGURA 4.49. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60 CON T-403

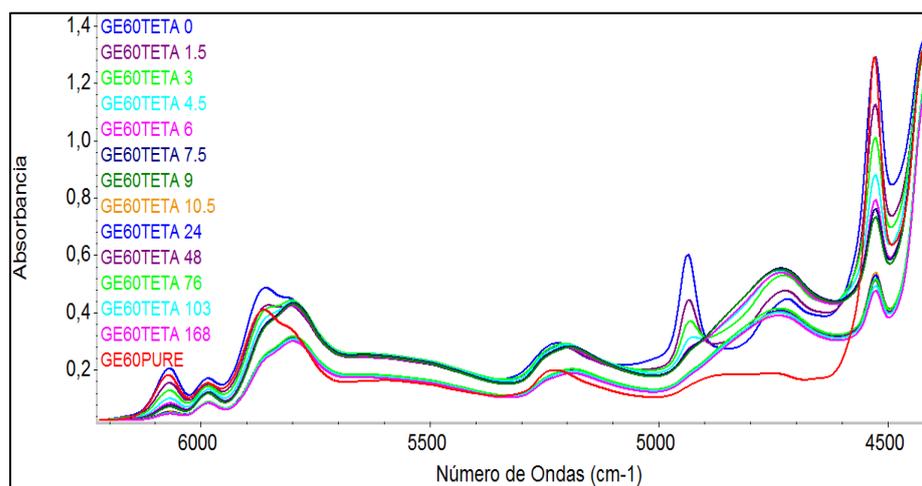


FIGURA 4.50. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60 CON TETA

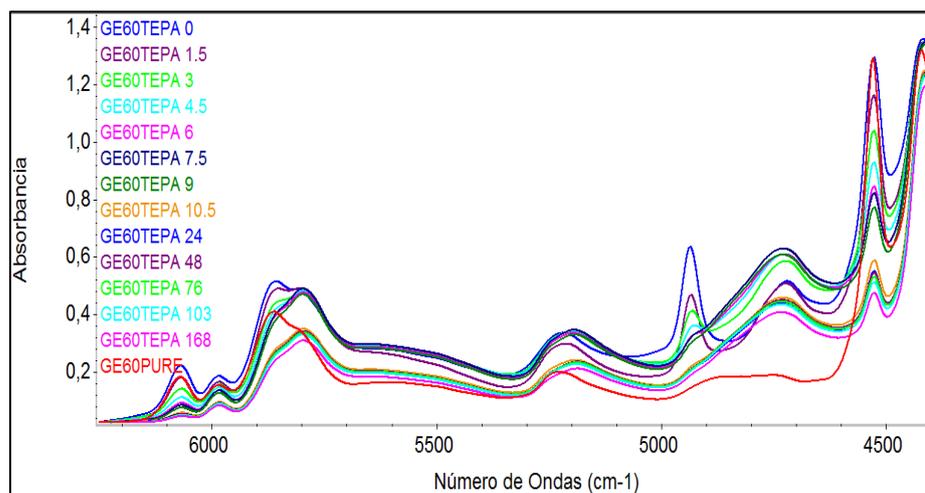


FIGURA 4.51. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60 CON TEPA

Las figuras 4.46, 4.47, 4.48, 4.49, 4.50, 4.51 muestran el aumento de los picos de absorbancia correspondientes a las bandas de los grupos activos de la resina y aminas según el método Near-IR, al transcurrir el espacio de tiempo asignado se produce la conversión de amina primaria y epóxico, esto se refleja en el decrecimiento de los picos de epóxico y amina primaria, los valores de la áreas obtenidas en cada intervalo de tiempo se emplearon para calcular las concentraciones, todo estos datos se muestra tabulados y graficados según el sistema a continuación.

TABLA 9
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE60+EDR-148

T (hr)	GE-60 + EDR-148					
	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	C Ep (%)	C Ap (%)
0	2,3310	0,0000	0,0000	4,6620	0,0000	0,0000
1.5	1,3063	0,9025	0,1222	3,5150	0,1772	0,3885
3	0,6810	1,0081	0,6418	2,3702	0,4326	0,6739
4.5	0,3218	1,0116	0,9975	1,6553	0,5713	0,8333
6	0,2008	0,7370	1,3932	1,1386	0,7191	0,9009
7.5	0,1129	0,5964	1,6217	0,8222	0,7813	0,9400
9	0,0737	0,4835	1,7738	0,6309	0,8290	0,9601
10.5	0,0172	0,1481	2,1657	0,1826	0,9461	0,9898
24	0,0165	0,1402	2,1743	0,1732	0,9478	0,9901
48	0,0074	0,0967	2,2268	0,1116	0,9706	0,9961
72	0,0056	0,0820	2,2434	0,0932	0,9728	0,9967
120	0,0034	0,0697	2,2580	0,0764	0,9764	0,9979
144	0,0032	0,0477	2,2801	0,0541	0,9846	0,9982

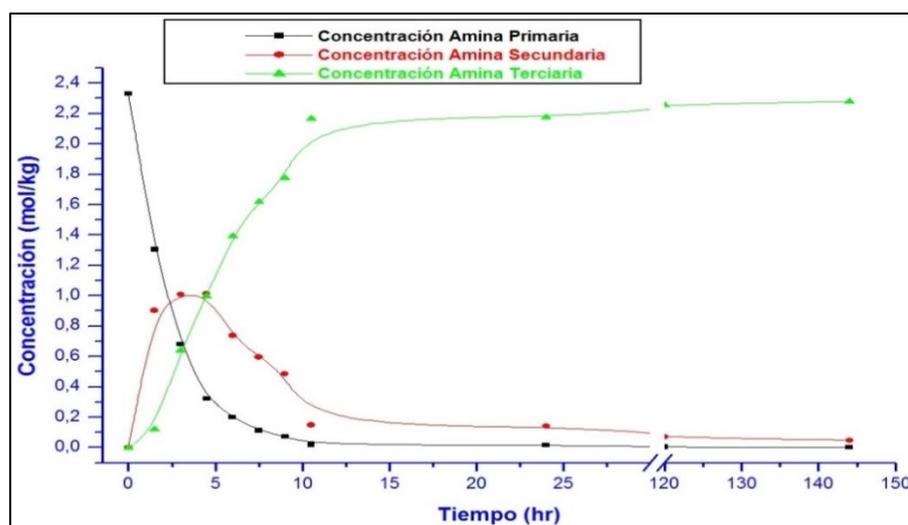


FIGURA 4.52. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT
DE GE-60+EDR-148

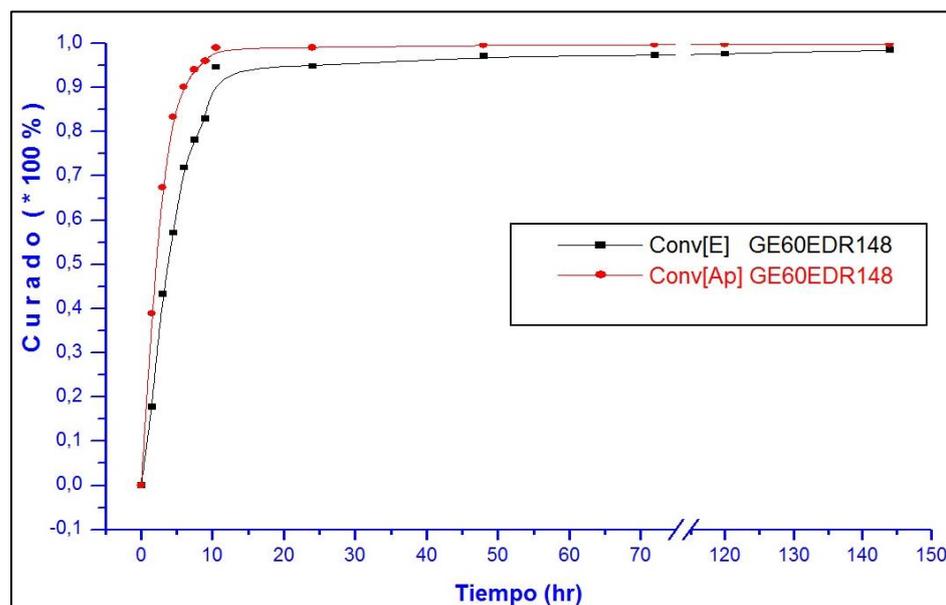


FIGURA 4.53. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+EDR-148

En la figura 4.52 se pudo visualizar que la concentración máxima alcanzada para la amina terciaria fue de 2.28 mol/kg, por otra parte se observó que el tiempo de conversión de amina primaria en la figura 4.53 fue de 24 horas cuando alcanza el 99% de curado mientras que para el epóxido alcanza el 98% en 144 horas, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina EDR-148.

TABLA 10
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE60+EDR-176

GE-60 + EDR-176						
T (hr)	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	C Ep (%)	C Ap (%)
0	2,2573	0,0000	0,0000	4,5147	0,0000	0,0000
1.5	1,4228	0,7017	0,1327	3,5475	0,1679	0,3325
3	0,7707	0,7597	0,7270	2,3011	0,4596	0,6380
4.5	0,3580	0,7187	1,1806	1,4348	0,6505	0,8256
6	0,1859	0,5181	1,5533	0,8899	0,7816	0,9088
7.5	0,1060	0,3689	1,7824	0,5810	0,8581	0,9482
9	0,0736	0,3097	1,8740	0,4570	0,8684	0,9576
10.5	0,0542	0,2500	1,9530	0,3586	0,8944	0,9681
24	0,0224	0,1331	2,1018	0,1780	0,9473	0,9867
48	0,0137	0,0389	2,2047	0,0664	0,9805	0,9919
76	0,0094	0,0281	2,2198	0,0470	0,9861	0,9944
103	0,0063	0,0143	2,2367	0,0269	0,9920	0,9963
168	0,0050	0,0027	2,2496	0,0128	0,9961	0,9970

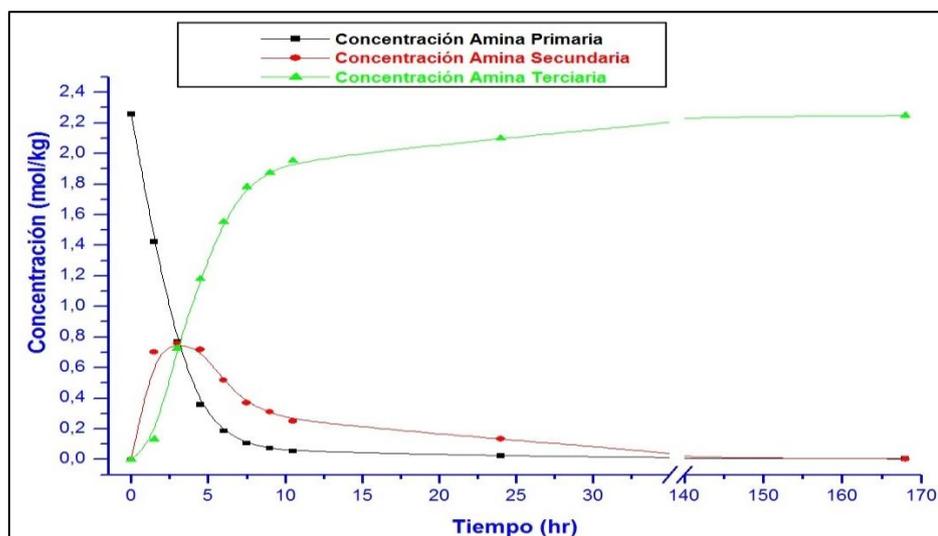


FIGURA 4.54. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT
DE GE-60+EDR-176

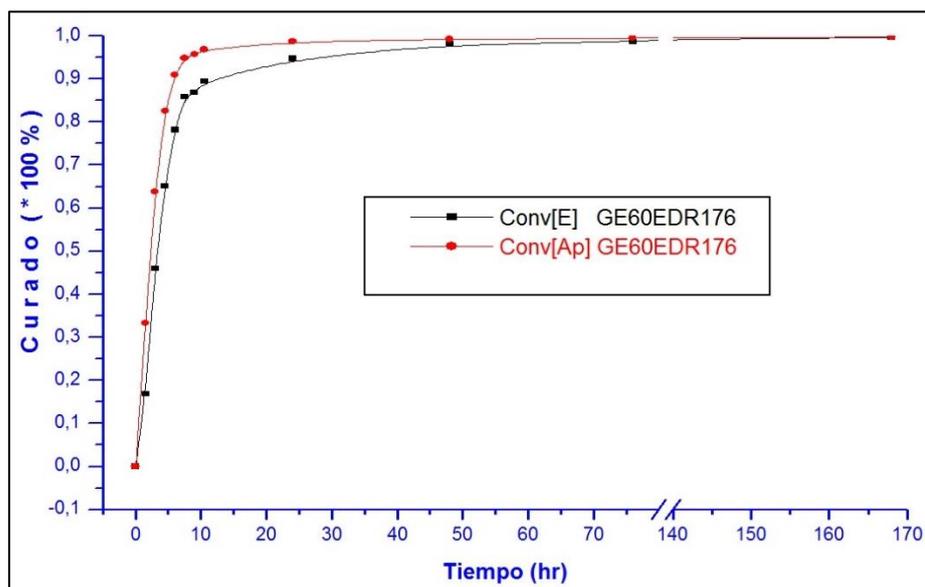


FIGURA 4.55. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+EDR-176

En la figura 4.54 se pudo visualizar que la concentración máxima alcanzada para la amina terciaria fue de 2.25 mol/kg, por otra parte se observó que el tiempo de conversión de amina primaria en la figura 4.55 fue de 48 horas cuando alcanza el 99% de curado mientras que para el epóxido alcanza el 99% a las 103 horas, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina EDR-176.

TABLA 11
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE60+D-230

T (hr)	GE-60 + D-230					
	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	C Ep (%)	C Ap (%)
0	2,1277	0,0000	0,0000	4,2553	0,0000	0,0000
1,5	1,9645	0,0095	0,1537	3,9384	0,1093	0,1115
3	1,6634	0,1266	0,3377	3,4534	0,2274	0,2557
7	1,2059	0,3055	0,6163	2,7172	0,4009	0,4682
17	0,5832	0,3981	1,1465	1,5643	0,6513	0,7400
22	0,4340	0,4080	1,2857	1,2759	0,7218	0,8107
24	0,3678	0,3760	1,3839	1,1115	0,7576	0,8396
26	0,3159	0,3364	1,4754	0,9682	0,7897	0,8627
28	0,2781	0,3060	1,5436	0,8621	0,8127	0,8791
31	0,2432	0,2690	1,6154	0,7554	0,8377	0,8955
41,5	0,1529	0,1812	1,7936	0,4869	0,8962	0,9348
46	0,1445	0,1485	1,8347	0,4374	0,9110	0,9412
49,5	0,1250	0,1256	1,8771	0,3755	0,9218	0,9479
92	0,0589	0,0583	2,0104	0,1761	0,9606	0,9736
144	0,0445	0,0208	2,0624	0,1097	0,9755	0,9801
168	0,0415	0,0085	2,0777	0,0914	0,9797	0,9816

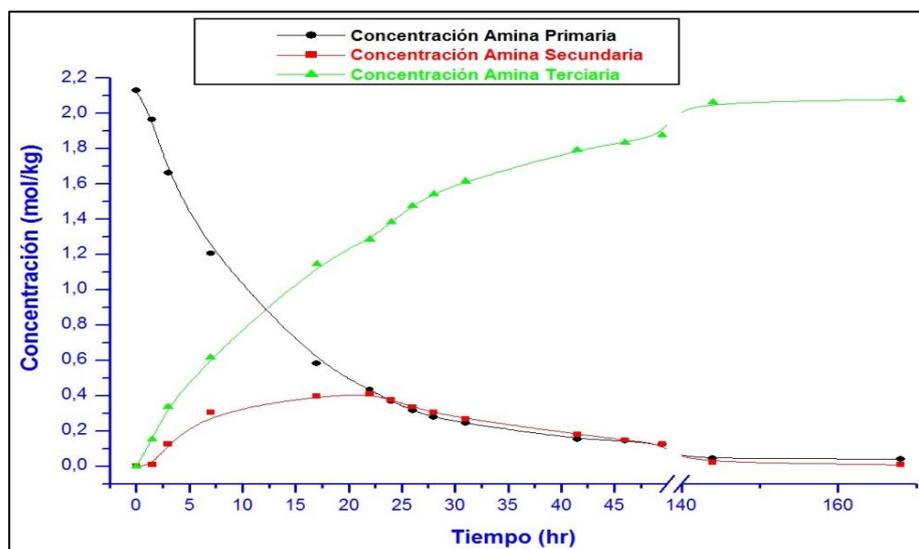


FIGURA 4.56. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT DE GE-60+D-230

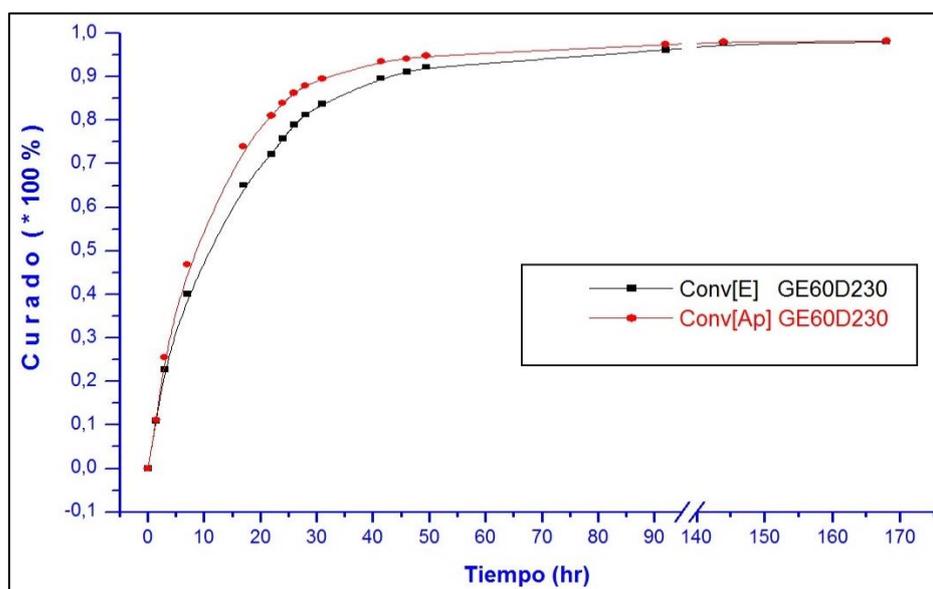


FIGURA 4.57. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+D-230

En la figura 4.56 se pudo visualizar que la concentración máxima alcanzada para la amina terciaria fue de 2.08 mol/kg, por otra parte se observó que el tiempo de conversión de amina primaria en la figura 4.57 fue de 168 horas cuando alcanza el 98% al final del ensayo de curado, mientras que para el epóxico alcanza el 98% a las 168 horas, ambos casi a la par, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina D-230.

TABLA 12
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE-60+T-403

T (hr)	GE-60 + T-403					
	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	C Ep (%)	C Ap (%)
0	2,0436	0,0000	0,0000	4,0872	0,0000	0,0000
1.5	1,9090	0,0642	0,0704	3,8822	0,0966	0,1115
3	1,7471	0,1951	0,1014	3,6893	0,1620	0,2064
6	1,2631	0,6325	0,1480	3,1587	0,3052	0,4443
9	0,7670	0,9684	0,3083	2,5023	0,4615	0,6699
20	0,3932	0,8784	0,7719	1,6649	0,6457	0,8326
21.5	0,3517	0,8843	0,8076	1,5878	0,6596	0,8492
24	0,2802	0,8769	0,8865	1,4373	0,6953	0,8812
27	0,2215	0,8604	0,9616	1,3035	0,7247	0,9064
30	0,1715	0,8282	1,0438	1,1713	0,7545	0,9281
33	0,1250	0,7840	1,1346	1,0340	0,7841	0,9478
44.5	0,0642	0,6923	1,2871	0,8207	0,8332	0,9739
48	0,0533	0,6617	1,3286	0,7683	0,8439	0,9783
52	0,0478	0,6376	1,3582	0,7332	0,8527	0,9808
92	0,0169	0,5011	1,5256	0,5349	0,8875	0,9929
144	0,0086	0,4445	1,5905	0,4617	0,9043	0,9965
168	0,0051	0,4212	1,6173	0,4314	0,9089	0,9978

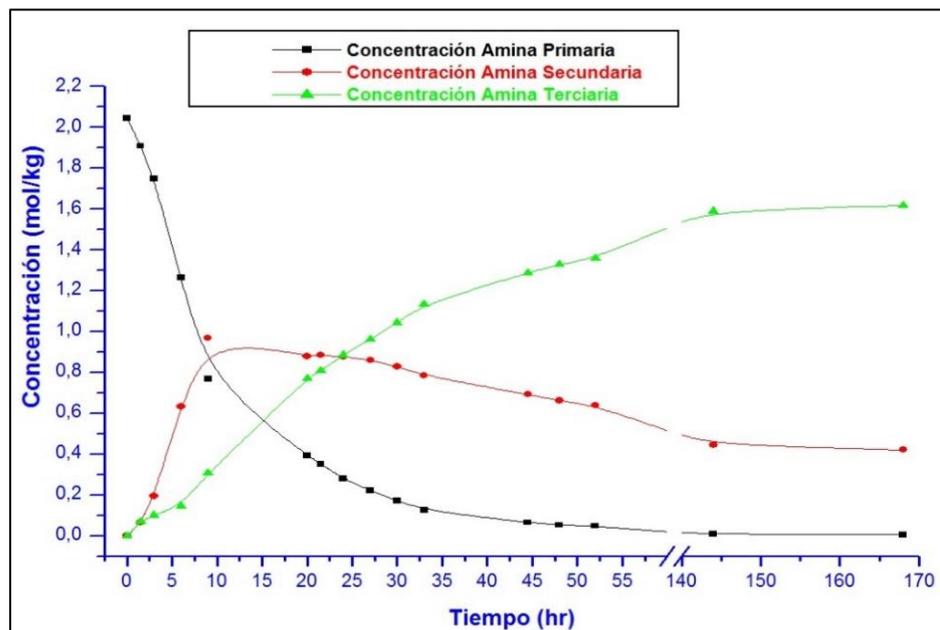


FIGURA 4.58. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT DE GE-60+T-403

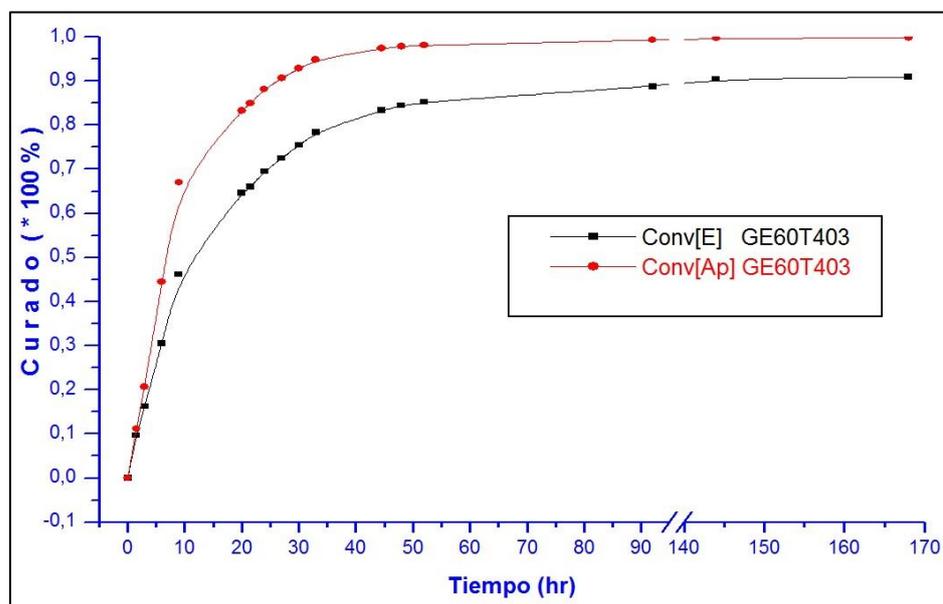


FIGURA 4.59. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+T-403

En la figura 4.58 se pudo visualizar que la concentración máxima alcanzada para la amina terciaria fue de 1.62 mol/kg, por otra parte se observaron los tiempos de conversión de la amina primaria en la figura 4.59 que fue de 92 horas cuando alcanza el 99% de curado mientras que para el epóxico alcanza el 91% a las 168 horas, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina T-403.

TABLA 13
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE-60+TETA

GE-60 + TETA						
T (hr)	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	C Ep (%)	C Ap (%)
0	3,3085	1,6543	0,0000	4,9628	0,0000	0,0000
1.5	1,8135	1,7977	-0,3027	3,7705	0,0981	0,3493
3	0,7870	2,6514	-0,1298	2,5711	0,3498	0,7015
4.5	0,2229	3,0323	0,0533	1,8240	0,5076	0,9097
6	0,1456	2,8183	0,3446	1,4553	0,5911	0,9386
7.5	0,0696	2,7265	0,5123	1,2116	0,6595	0,9706
9	0,0404	2,6903	0,5778	1,1169	0,6824	0,9828
10.5	0,0302	2,7483	0,5300	1,1544	0,6227	0,9852
24	0,0199	2,7229	0,5658	1,1084	0,6470	0,9905
48	0,0134	2,6559	0,6393	1,0284	0,6720	0,9936
76	0,0113	2,6088	0,6884	0,9773	0,6890	0,9946
103	0,0094	2,5599	0,7392	0,9245	0,7034	0,9955
168	0,0071	2,5408	0,7607	0,9007	0,7099	0,9966

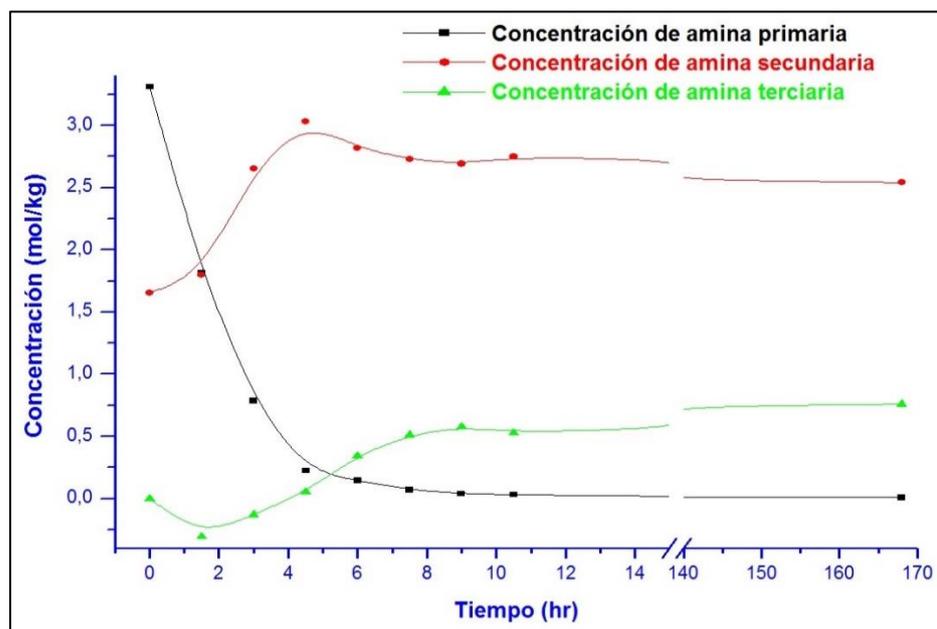


FIGURA 4.60. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT DE GE-60+TETA

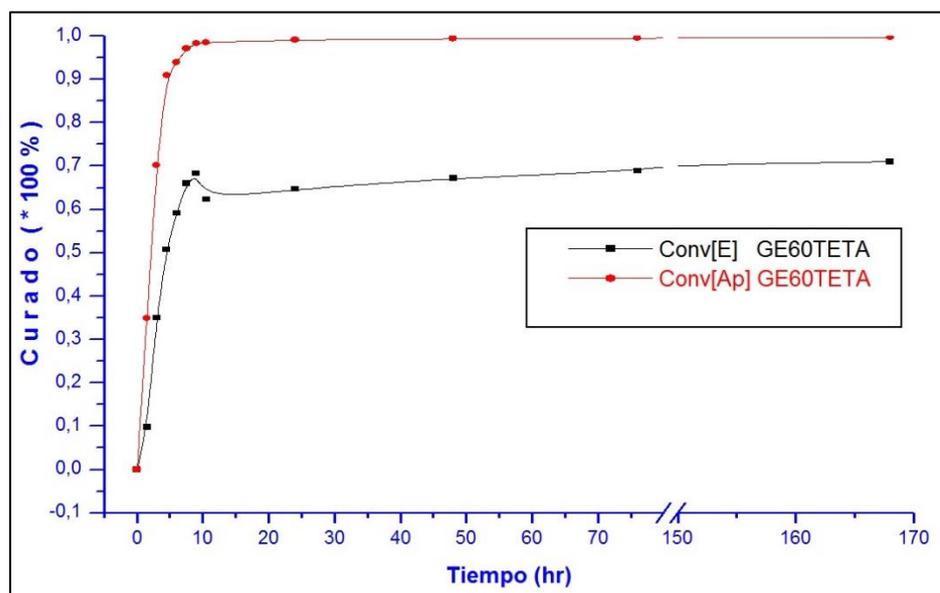


FIGURA 4.61. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+TETA

En la figura 4.60 se visualizó que la concentración de amina terciaria alcanzada fue de 0.767 mol/Kg al final de las 168 horas, en la figura 4.61 se observó que el tiempo de conversión de amina primar cuando alcanza el 99% de curado fue a las 24 horas, mientras que para el epóxico alcanza el 71% a las 168 horas, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina TETA.

TABLA 14
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE-60+TEPA

GE-60 + TEPA						
T (hr)	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	CEp (%)	C Ap (%)
0	2,7943	2,0958	0,0000	4,8901	0,0000	0,0000
1.5	1,6584	1,0687	0,0672	3,6871	0,1492	0,3303
3	0,8111	1,7852	0,1980	2,7089	0,3230	0,6453
4.5	0,3261	1,9170	0,5512	1,8708	0,5035	0,8485
6	0,1548	1,8371	0,8024	1,4483	0,5997	0,9251
7.5	0,0867	1,7198	0,9878	1,1948	0,6710	0,9582
9	0,0625	1,6830	1,0488	1,1095	0,6822	0,9687
10.5	0,0380	1,7174	1,0389	1,0949	0,6361	0,9779
24	0,0281	1,7117	1,0546	1,0693	0,6384	0,9834
48	0,0197	1,6354	1,1392	0,9764	0,6709	0,9884
76	0,0164	1,6144	1,1636	0,9486	0,6783	0,9903
103	0,0133	1,5733	1,2077	0,9014	0,6926	0,9921
168	0,0051	1,5782	1,2110	0,8899	0,6945	0,9969

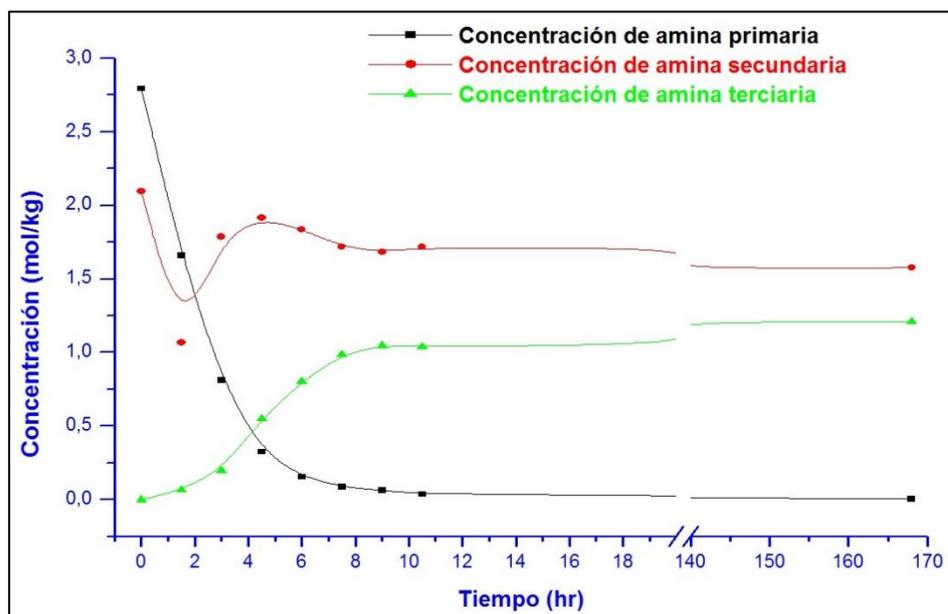


FIGURA 4.62. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT DE GE-60+TEPA

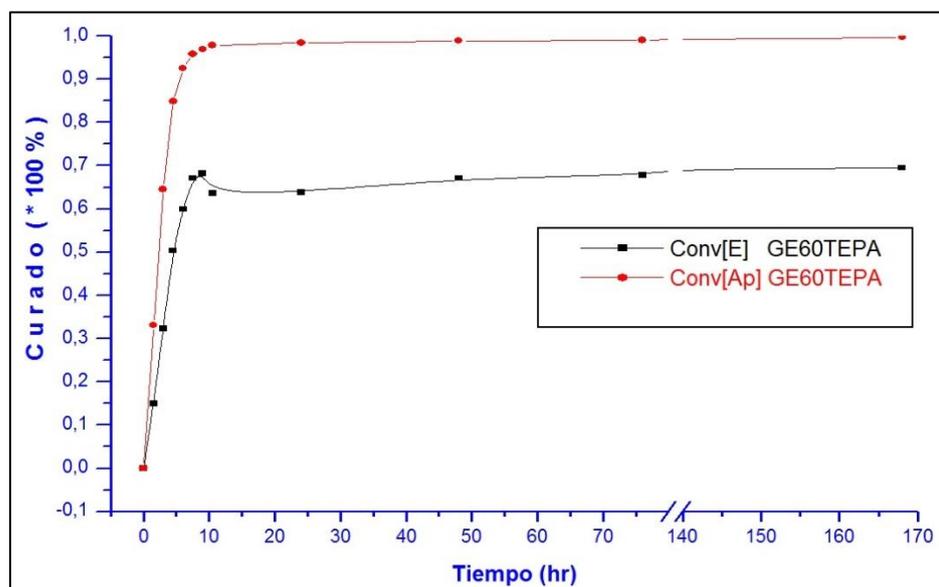


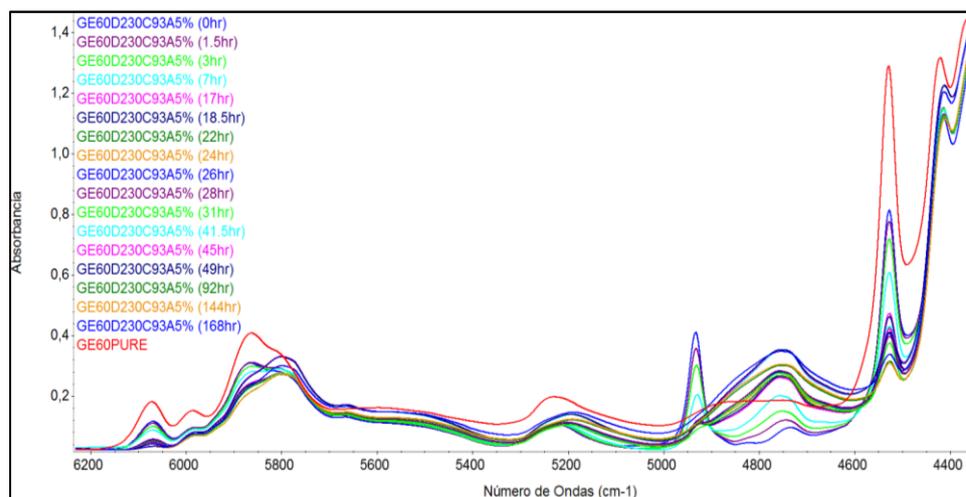
FIGURA 4.63. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+TEPA

En la figura 4.62 se pudo visualizar que la concentración máxima alcanzada para la amina terciaria fue de 1.21 mol/kg al final de las 168 horas, en la figura 4.63 se observó el tiempo de conversión de amina primaria cuando alcanza el 99% de curado que fue a las 76 horas, mientras que para el epóxico alcanza el 70% a las 168 horas, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina TEPA.

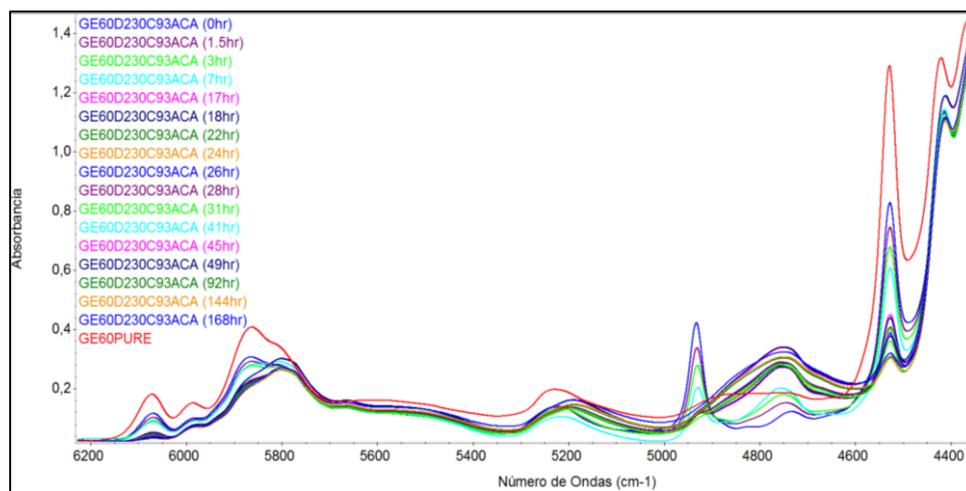
En retrospectiva al analizar individualmente cada sistema curado se resalta al formado de GE-60 con EDR-148 obteniendo la más alta concentración (2.28 mol/kg) de amina terciaria al finalizar el monitoreo del curado de este sistema, sumado a esto el porcentaje de conversión de amina primaria alcanza el 99% a las 24 horas junto con el porcentaje de conversión de epóxico que llega al 98% a las 144 horas de haber iniciado el ensayo, con una concentración de 2.25 mol/kg de amina terciaria, porcentaje de conversión de amina primaria de 99% a las 48 horas y porcentaje de conversión de epóxico de 99% a las 103 se acerca el sistema formado por GE60 con EDR-176.

4.5. Curado de Mezcla de Resina, Aminas, Nanoarcilla e Inhibidor de Corrosión.

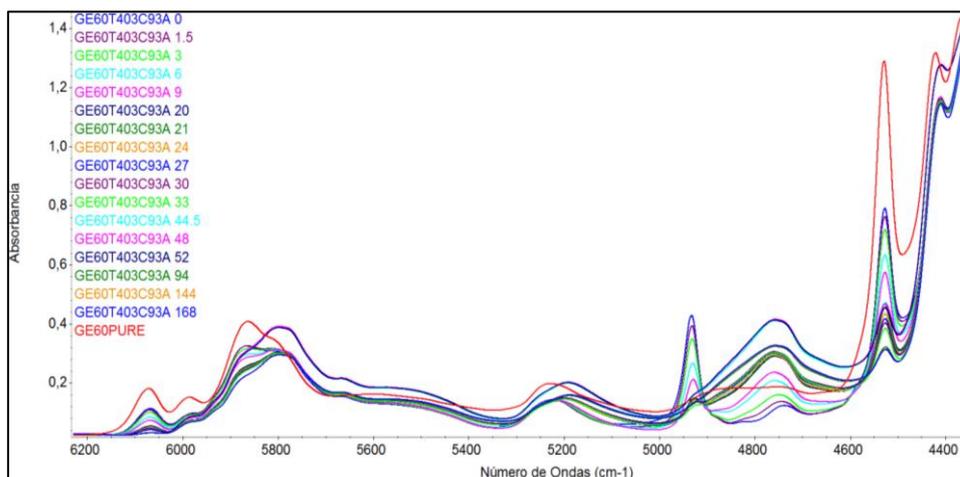
En esta sección se incluyeron los análisis para dos tipos de ensayos, en el primero se evaluó el efecto de la cloisite 93A y el inhibidor de corrosión RM210 en la mezcla de curado con la resina epóxica GE-60, las aminas D-230 y T-403, para este efecto al igual que en los ensayos realizados en la sección anterior el barrido de longitud de onda esta entre 7500 a 4000 cm^{-1} , centrándose el monitoreo en los picos de absorbancias correspondientes a la amina primaria (4935 cm^{-1}) y epóxico (4520 cm^{-1}) junto con un pico referencial (6000 cm^{-1}), gracias a la ecuaciones para los cambios de concentración y conversión de amina primaria, secundaria, terciaria y epóxico se obtuvieron los datos los cuales se tabularon y analizaron con los programas OMINIC, MICROSOFT EXCELL y MICROCAL ORIGIN, al final se compararon con las mezclas correspondientes a estas dos aminas sin arcilla e inhibidor, las figuras de espectrometría obtenidas se muestran a continuación.



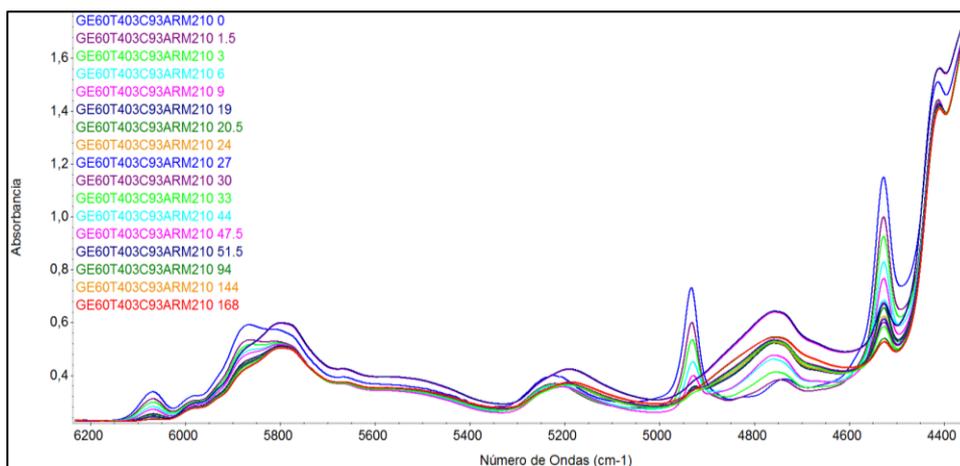
**FIGURA 4.64. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60
CON D-230 Y C93A**



**FIGURA 4.65. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60
CON D-230, C93A Y RM-210**



**FIGURA 4.66. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60
CON T-403 Y C93A**



**FIGURA 4.67. PICOS CARACTERÍSTICOS DE GE-60
CON T-403, C93A Y RM-210**

Las figuras 4.64, 4.65, 4.66, 4.67 pertenecientes a dos sistemas diferentes con su respectivo reforzamiento con nanoarcilla C93A e inhibidor de corrosión RM-210, al ser comparados se pudo

establecer cómo afecta en la conversión de amina primaria y epóxico del sistema al formarse el entrecruzamiento o solidificación de la muestra, mediante el método Near-IR durante el espacio de tiempo asignado, las áreas obtenidas en cada intervalo de tiempo se emplearon para calcular las concentraciones, todo estos datos se muestra tabulados y graficados según esto dos sistema a continuación.

TABLA 15
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE-60+D-230+C93A

GE-60 + D-230 + C93A						
T (hr)	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	C Ep (%)	C Ap (%)
0	2,0263	0,0000	0,0000	4,0527	0,0000	0,0000
1,5	1,6264	0,3642	0,0357	3,6171	0,1100	0,1996
3	1,4053	0,5923	0,0286	3,4031	0,1862	0,3278
7	0,8066	1,1631	0,0565	2,7765	0,3322	0,6120
17	0,2091	1,5844	0,2328	2,0026	0,5432	0,9046
18,5	0,1817	1,5709	0,2737	1,9344	0,5615	0,9176
22	0,1247	1,4883	0,4133	1,7379	0,6096	0,9440
24	0,0989	1,4425	0,4850	1,6403	0,6304	0,9554
26	0,0788	1,3909	0,5566	1,5486	0,6532	0,9647
28	0,0622	1,3341	0,6300	1,4586	0,6734	0,9721
31	0,0454	1,2822	0,6987	1,3731	0,6935	0,9797
41,5	0,0148	1,0691	0,9424	1,0988	0,7592	0,9935
49	0,0114	1,0362	0,9787	1,0591	0,7716	0,9951
92	0,0000	0,7580	1,2683	0,7581	0,8297	1,0000
144	0,0000	0,6811	1,3452	0,6812	0,8484	1,0000
168	0,0000	0,5902	1,4361	0,5903	0,8645	1,0000

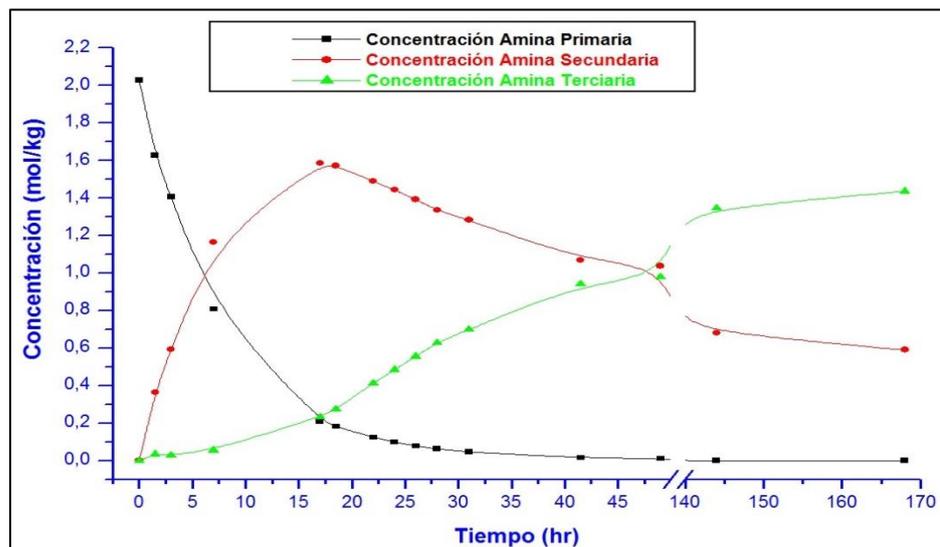


FIGURA 4.68. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT DE GE-60+D-230+C93A

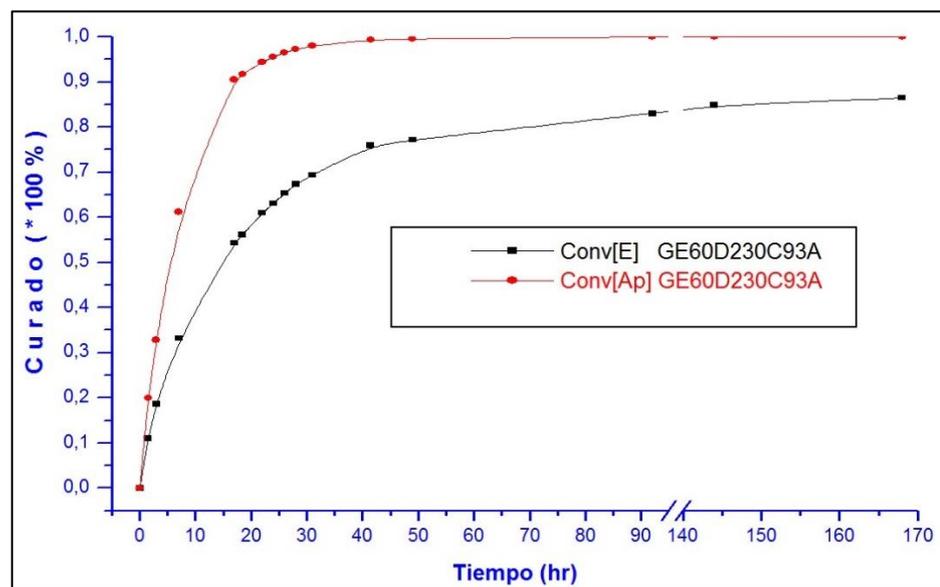


FIGURA 4.69. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+D-230+C93A

En la figura 4.68 se pudo visualizar que la concentración máxima alcanzada para la amina terciaria fue de 1.44 mol/kg, por otra parte se observó el tiempo de conversión de la amina primaria en la figura 4.69 que fue de 41.5 horas cuando alcanza el 99% de curado mientras que para el epóxico alcanza el 86% a las 168 horas, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina D-230 reforzado con la nanoarcilla C93A.

TABLA 16
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE-60+D-230+C93A+RM-210

GE-60 + D-230 + C93A + RM210						
T (hr)	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	C Ep (%)	C Ap (%)
0	2,0072	0,0000	0,0000	4,0145	0,0000	0,0000
1.5	1,5348	0,4636	0,0088	3,5333	0,1351	0,2486
3	1,2710	0,6837	0,0525	3,2258	0,2196	0,3850
7	0,9258	1,0250	0,0564	2,8767	0,3557	0,5853
17	0,1901	1,4099	0,4072	1,7902	0,5772	0,9102
18.5	0,1571	1,4035	0,4466	1,7178	0,5955	0,9260
22	0,0938	1,3283	0,5851	1,5160	0,6485	0,9565
24	0,0728	1,2820	0,6525	1,4276	0,6700	0,9663
26	0,0578	1,2066	0,7428	1,3223	0,6953	0,9734
28	0,0461	1,1486	0,8124	1,2410	0,7176	0,9790
31	0,0328	1,0964	0,8780	1,1620	0,7306	0,9848
41.5	0,0122	0,9090	1,0861	0,9334	0,7876	0,9945
45	0,0087	0,8877	1,1109	0,9051	0,7979	0,9961
49	0,0067	0,8324	1,1681	0,8458	0,8106	0,9970
92	0,0000	0,6388	1,3684	0,6389	0,8532	1,0000
144	0,0000	0,5661	1,4411	0,5662	0,8703	1,0000
168	0,0000	0,5552	1,4520	0,5553	0,8649	1,0000

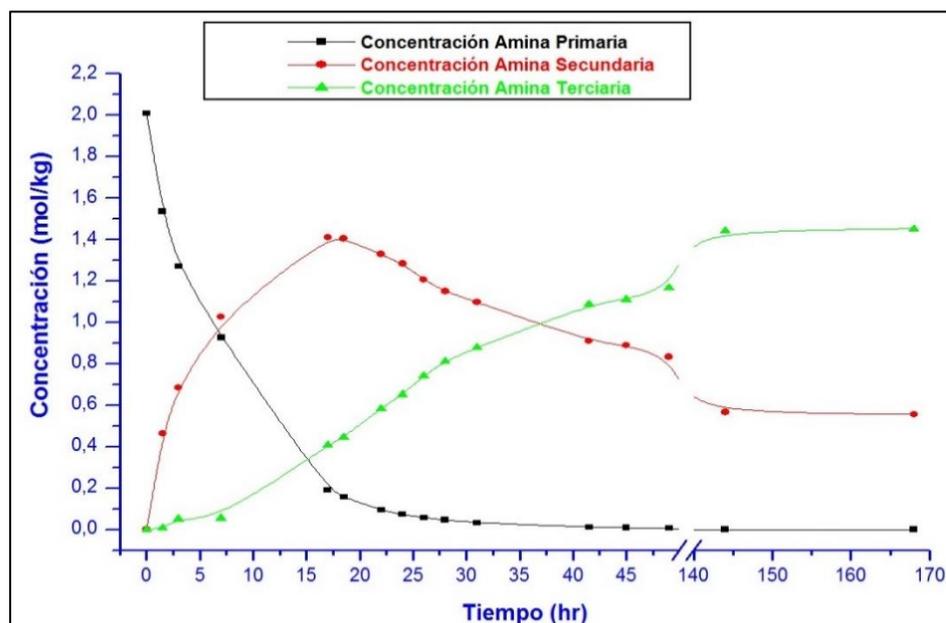


FIGURA 4.70. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT DE GE-60+D-230+C93A+RM-210

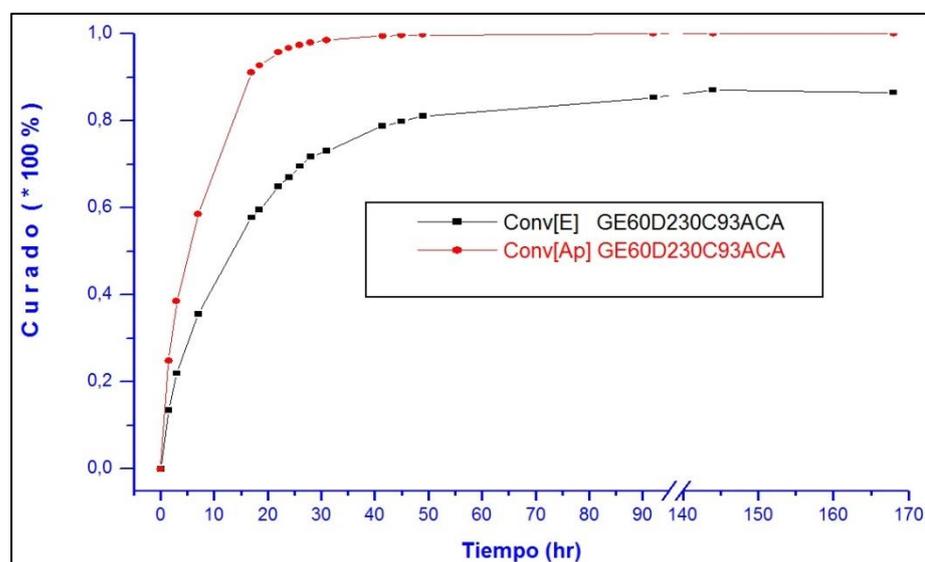


FIGURA 4.71. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+D-230+C93A+RM-210

En la figura 4.70 se pudo visualizar que la concentración máxima alcanzada para la amina terciaria fue de 1.45 mol/kg, por otra parte se observó el tiempo de conversión de la amina primaria en la figura 4.71 que fue de 41.5 horas cuando alcanza el 99% de curado mientras que para el epóxico alcanza el 86% a las 168 horas, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina D-230 reforzado con la nanoarcilla C93A e inhibidor de corrosión RM-210.

TABLA 17
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE-60+T-403+C93A

GE-60 + T-403 + C93A						
T (hr)	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	C Ep (%)	C Ap (%)
0	1,9463	0,0000	0,0000	3,8926	0,0000	0,0000
1.5	1,4825	0,6811	-0,2174	3,6462	0,0802	0,2521
3	1,2568	0,8721	-0,1826	3,3857	0,1499	0,3689
6	0,8353	1,2526	-0,1416	2,9232	0,2830	0,5903
9	0,6010	1,3222	0,0231	2,5242	0,3867	0,7080
20	0,1991	1,3783	0,3689	1,7765	0,5725	0,9042
21.5	0,1743	1,4056	0,3664	1,7542	0,5901	0,9185
24	0,1507	1,2281	0,5675	1,5294	0,6284	0,9268
27	0,0802	1,1673	0,6989	1,3276	0,6913	0,9627
30	0,0802	1,1673	0,6989	1,3276	0,6913	0,9627
33	0,0624	1,1077	0,7762	1,2325	0,7149	0,9711
44.5	0,0277	0,8861	1,0325	0,9415	0,7953	0,9879
48	0,0219	0,8448	1,0796	0,8887	0,8089	0,9906
52	0,0159	0,8195	1,1109	0,8514	0,8199	0,9933
94	0,0028	0,6543	1,2892	0,6598	0,8481	0,9987
144	0,0007	0,5848	1,3608	0,5862	0,8637	0,9997
168	0,0005	0,5618	1,3840	0,5628	0,8685	0,9998

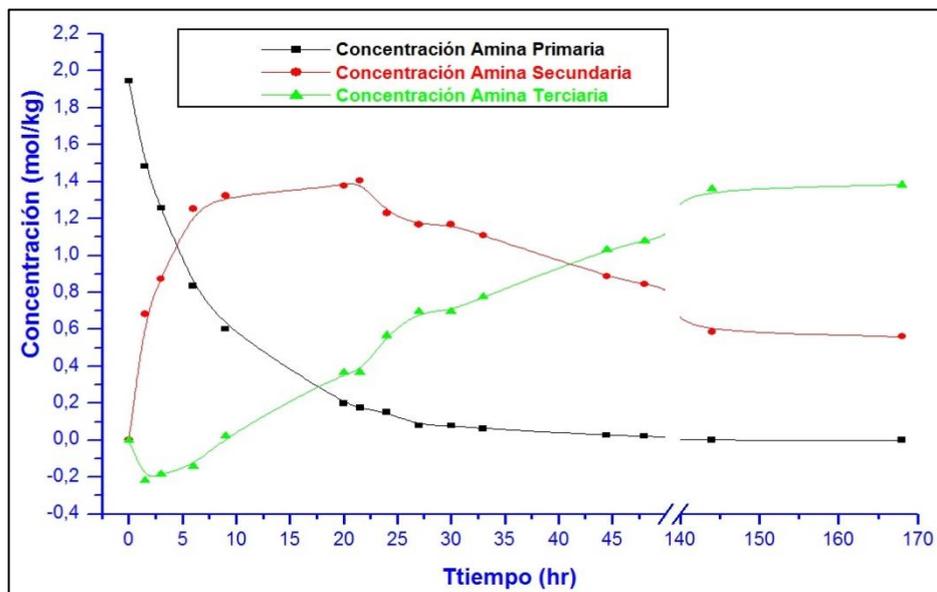


FIGURA 4.72. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT DE GE-60+T-403+C93A

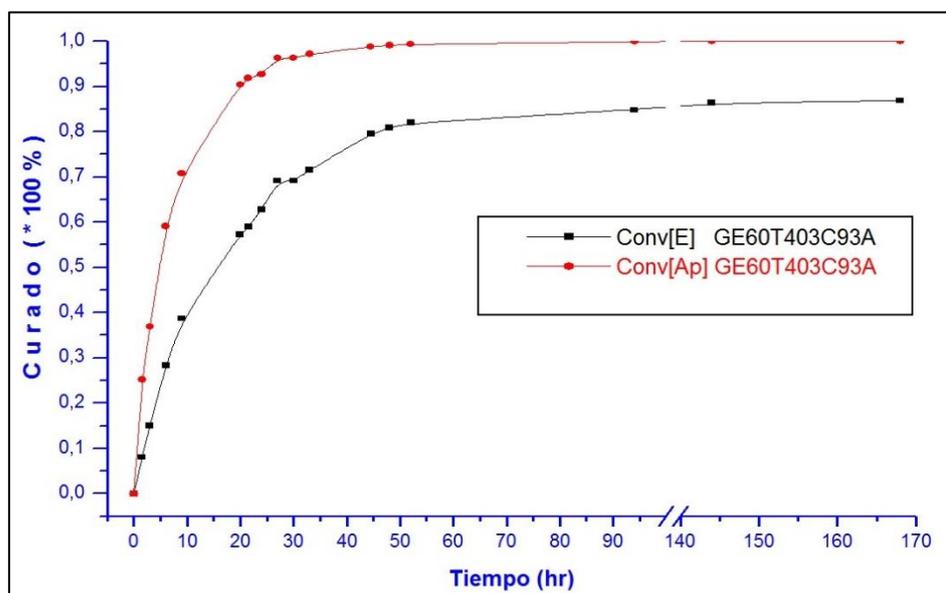


FIGURA 4.73. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+T-403+C93A

En la figura 4.72 se pudo visualizar que la concentración máxima alcanzada para la amina terciaria fue de 1.38 mol/kg, por otra parte se observó el tiempo de conversión de la amina primaria en la figura 4.73 que fue de 48 horas cuando alcanza el 99% de curado mientras que para el epóxico alcanza el 87% a las 168 horas, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina T-403 reforzado con la nanoarcilla C93A.

TABLA 18
CURADO DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCIARIA Y
EPÓXICO DE GE-60+T-403+C93A+RM-210

GE-60 + T-403 + C93A + RM210						
T (hr)	C Ap (mol/kg)	C As (mol/kg)	C At (mol/kg)	C Ep (mol/kg)	C Ep (%)	C Ap (%)
0	1,9279	0,0000	0,0000	3,8558	0,0000	0,0000
1.5	1,6171	0,2680	0,0429	3,5021	0,0802	0,1506
3	1,3119	0,5567	0,0593	3,1805	0,1891	0,3310
6	0,8420	0,9988	0,0871	2,6829	0,3365	0,5835
9	0,5765	1,1670	0,1844	2,3200	0,4364	0,7199
19	0,1825	1,2751	0,4702	1,6402	0,6069	0,9125
20.5	0,1456	1,2233	0,5590	1,5145	0,6337	0,9296
24	0,0850	1,1957	0,6472	1,3657	0,6772	0,9598
27	0,0643	1,1172	0,7464	1,2458	0,7069	0,9698
30	0,0474	1,0583	0,8223	1,1530	0,7300	0,9778
33	0,0377	1,0139	0,8763	1,0892	0,7425	0,9822
44	0,0184	0,8685	1,0410	0,9053	0,8068	0,9921
47.5	0,0143	0,8147	1,0989	0,8433	0,8154	0,9937
51	0,0115	0,7871	1,1293	0,8101	0,8227	0,9950
94	0,0016	0,6402	1,2861	0,6435	0,8514	0,9992
144	0,0008	0,5744	1,3526	0,5761	0,8682	0,9996
168	0,0004	0,5421	1,3854	0,5429	0,8729	0,9998

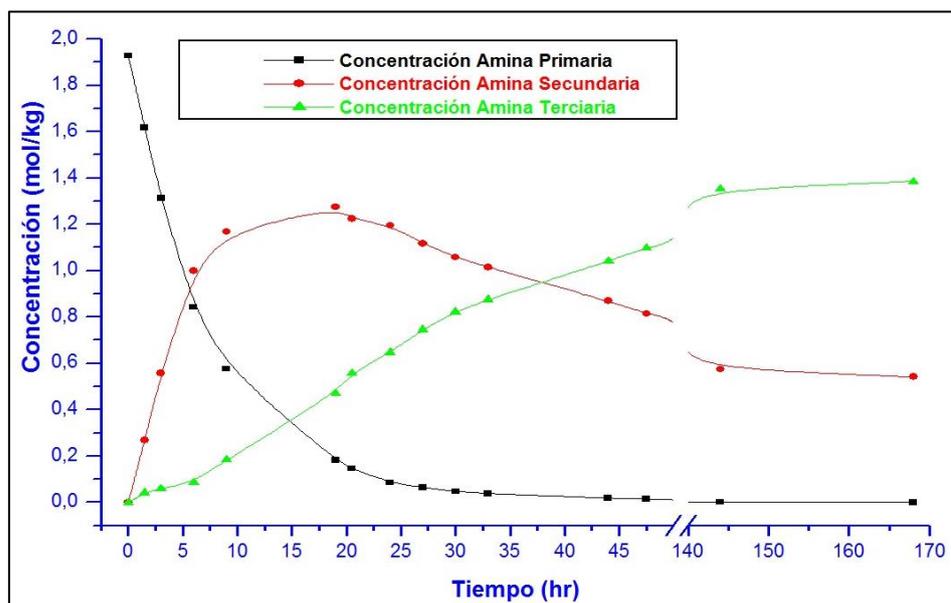


FIGURA 4.74. CONCENTRACIÓN VS TIEMPO DE AP, AS Y AT DE GE60+T403+C93A+RM210

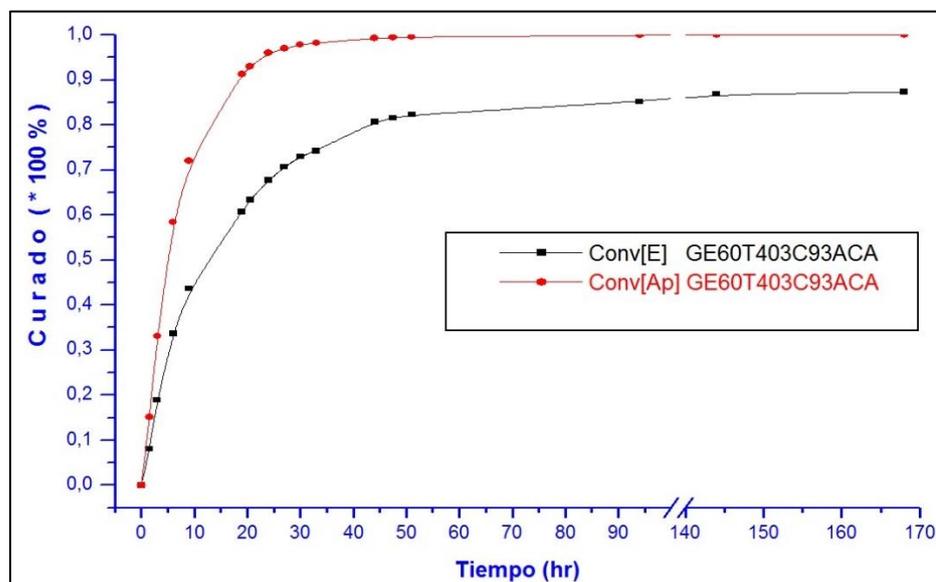


FIGURA 4.75. CONVERSIÓN DE EPÓXICO Y AMINA PRIMARIA VS TIEMPO DE GE-60+T-403+C93A+RM-210

En la figura 4.74 se observó que la concentración máxima alcanzada para la amina terciaria fue de 1.38 mol/kg, por otra parte se observó el tiempo de conversión de la amina primaria en la figura 4.75 que fue de 44 horas cuando alcanza el 99% de curado mientras que para el epóxico alcanza el 87% a las 168 horas, según este sistema a base de la resina GE-60 con la amina T-403 reforzado con la nanoarcilla C93A e inhibidor de corrosión RM-210.

Como segunda parte de esta sección se incluyeron los análisis obtenidos por medio de las difractometrías realizadas a las ocho probetas con forma de disco curadas por siete días a temperatura ambiente y humedad relativa baja, cuya mezcla se obtuvo a partir de la resinas GE-60 con las aminas EDR-148, EDR-176, TETA, TEPA junto con la arcilla C93A, por medio del XRD se obtuvieron los espaciamientos basales de estas probetas en estado sólido y de esta manera cuantificar el grado de asociación así como inferir en la influencia que tuvo la arcilla en cada sistema, los datos obtenidos se tabularon y analizaron con los programas MICROSOFT EXCELL, X'PERT HIGHSCORE PLUS y MICROCAL ORIGIN, al final se hizo la respectiva comparación entre mezclas con y sin arcilla, los datos se muestran a continuación.

TABLA 19
ESPACIAMIENTOS BASALES DE PROBETAS CURADAS EN
FORMA DE DISCOS

Muestra	Superficie		Fondo	
	Posición 2Theta (°)	Amplitud (A)	Posición 2Theta (°)	Amplitud (A)
GE60EDR148	-	-	-	-
GE60EDR148C93A	5.312	16.623	5.887	16.392
GE60EDR176	-	-	-	-
GE60EDR176C93A	5.194	17.001	5.272	16.750
GE60TEPA	-	-	-	-
GE60TEPAC93A	-	-	6.449	13.695
GE60TETA	-	-	-	-
GE60TETAC93A	6.516	13.461	6.536	13.512

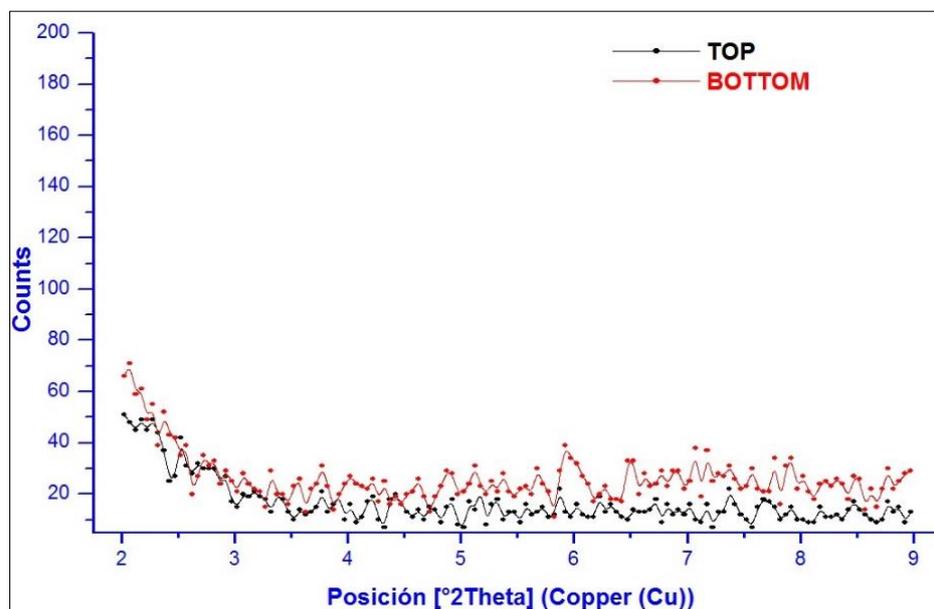
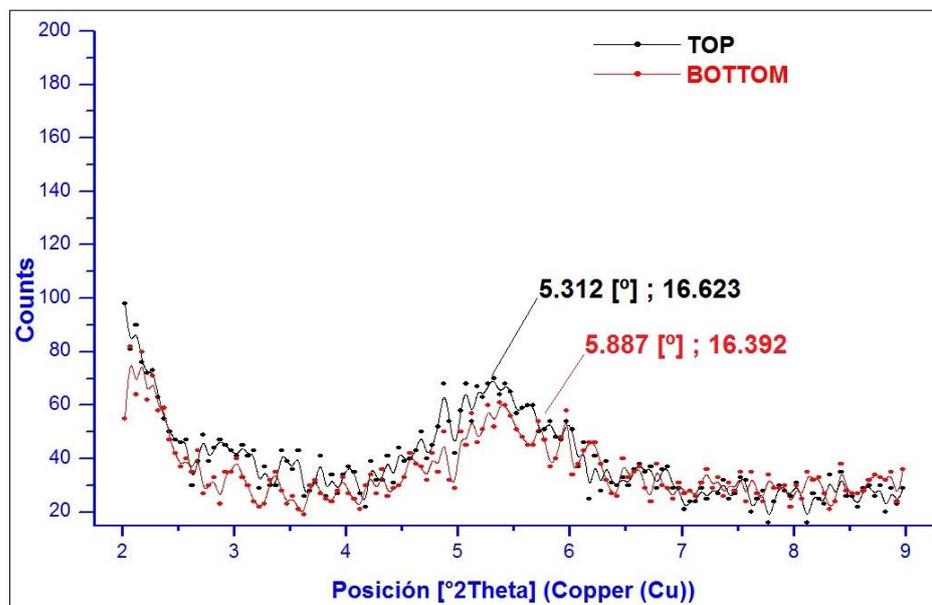
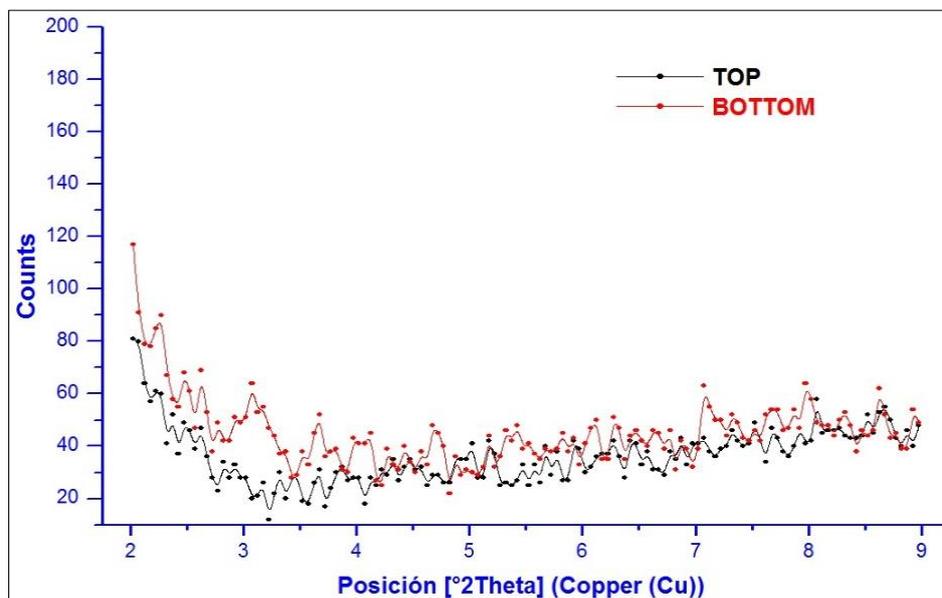


FIGURA 4.76. DIFRACTOMETRÍA DE DISCO CURADO DE
GE-60+EDR-148

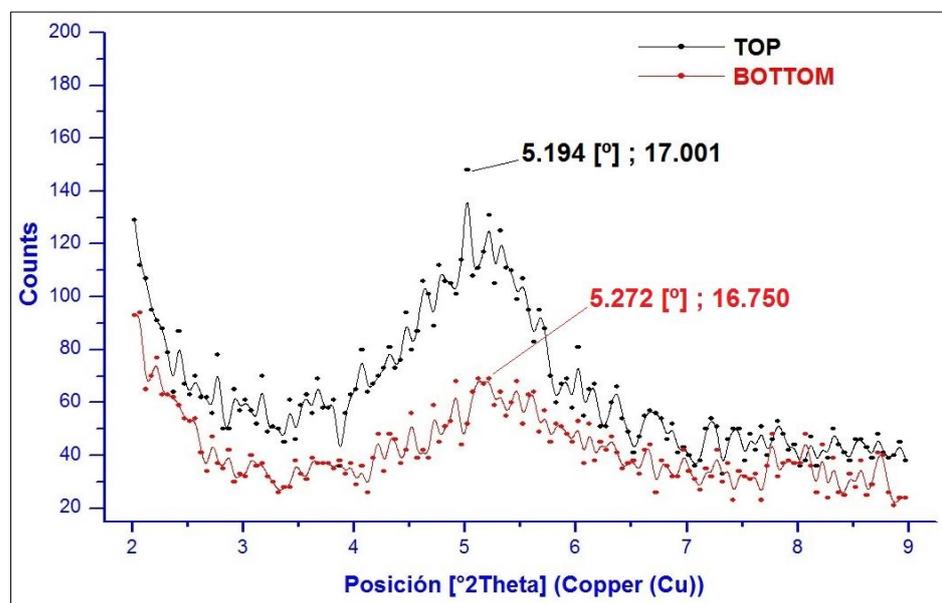


**FIGURA 4.77. DIFRACTOMETRÍA DE DISCO CURADO DE
GE-60+EDR-148+C93A**

Como se pudo observar en la figura 4.76 no se obtuvo el pico característico a la arcilla en las dos caras debido a que no se agregó a esta mezcla, en la figura 4.77 al agregar el 5% de C93A se obtuvieron dos picos ambos alrededor de 16 angstrom de amplitud con un mismo ángulo de difracción de 5° en las dos caras, lo que denota que la arcilla se intercaló mientras este sistema se curó.

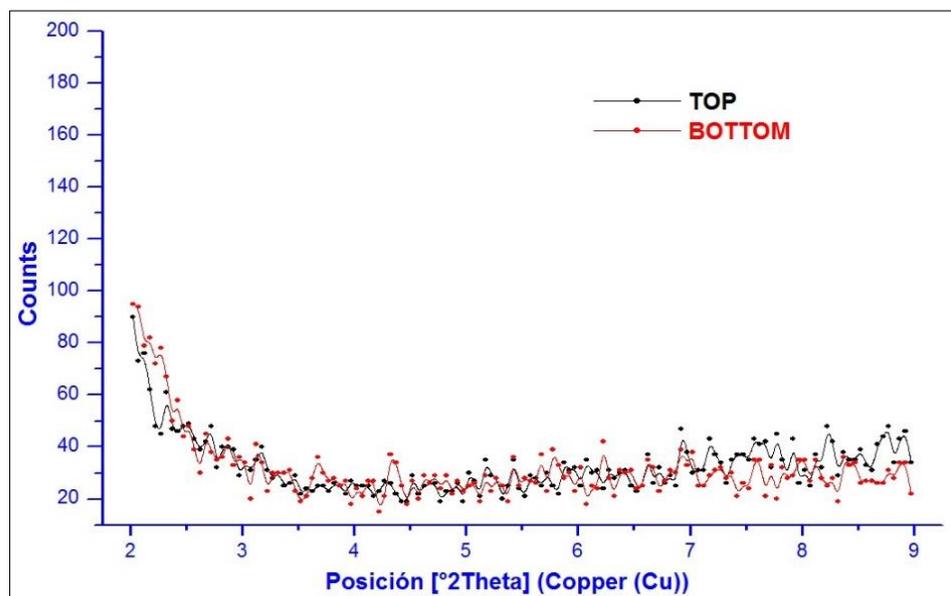


**FIGURA 4.78. DIFRACTOMETRÍA DE DISCO CURADO DE
GE-60+EDR-176**

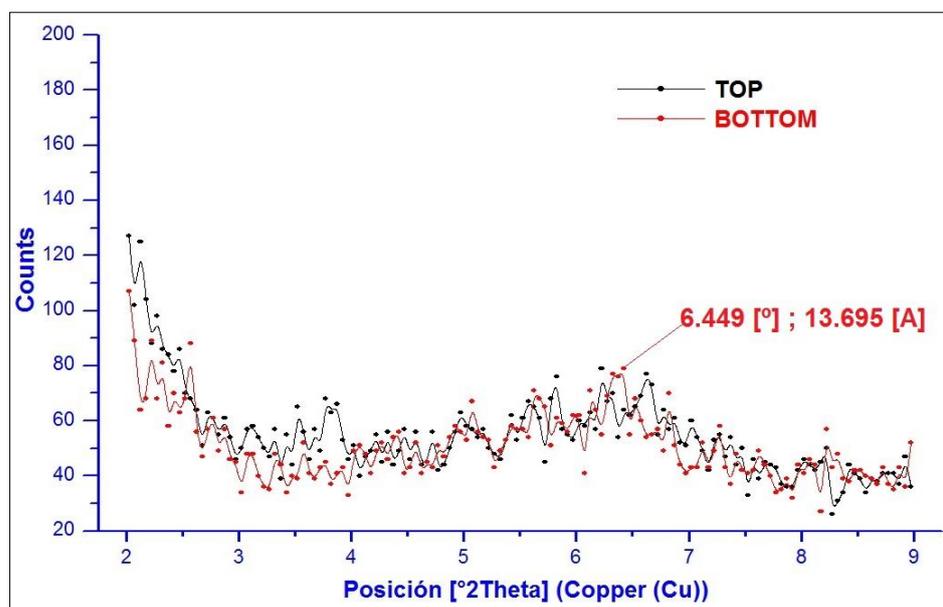


**FIGURA 4.79. DIFRACTOMETRÍA DE DISCO CURADO DE
GE-60+EDR-176+C93A**

Como se pudo observar en la figura 4.78 no se obtuvo el pico característico a la arcilla en las dos caras debido a que no se agregó a esta mezcla, en la figura 4.79 al agregar el 5% de C93A se obtuvieron dos picos ambos alrededor de 17 angstrom de amplitud con un mismo ángulo de difracción de 5° en las dos caras, lo que denota que la arcilla se intercaló mientras este sistema se curó.

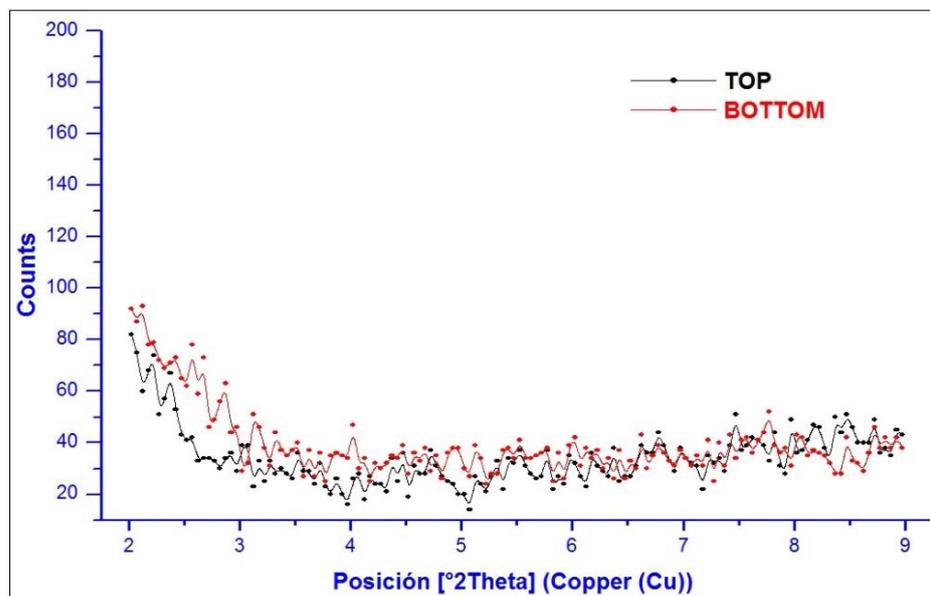


**FIGURA 4.80. DIFRACTOMETRÍA DE DISCO CURADO DE
GE-60+TEPA**

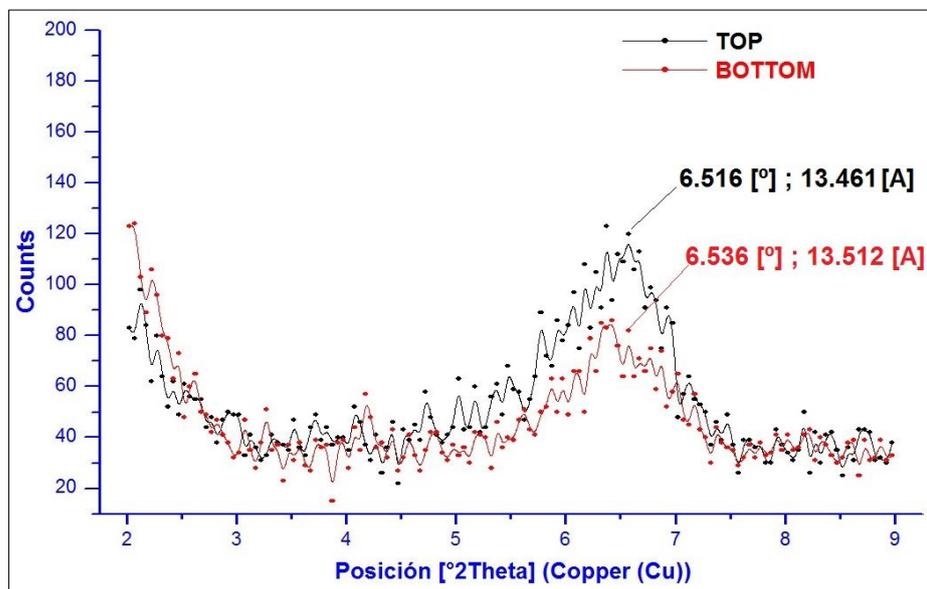


**FIGURA 4.81. DIFRACTOMETRÍA DE DISCO CURADO DE
GE-60+TEPA+C93A**

Como se pudo observar en la figura 4.80 no se obtuvo el pico característico a la arcilla en las dos caras debido a que no se agregó a esta mezcla, en la figura 4.81 al agregar el 5% de C93A se obtuvo solo un pico representativo a la arcilla detectado en la cara del fondo con 14 angstrom de amplitud con un ángulo de difracción de 6°, lo que indica que la arcilla presente se asentó por gravedad durante el lapso de curado para este sistema.



**FIGURA 4.82. DIFRACTOMETRÍA DE DISCO CURADO DE
GE-60+TETA**



**FIGURA 4.83. DIFRACTOMETRÍA DE DISCO CURADO DE
GE-60+TETA+C93A**

Como se pudo observar en la figura 4.82 no se obtuvo el pico característico a la arcilla en las dos caras debido a que no se agregó a esta mezcla, en la figura 4.83 al agregar el 5% de C93A se obtuvieron dos picos representativo a la arcilla en ambas caras de 13 angstrom de amplitud con un ángulo de difracción de 6° , lo que indica que la arcilla presente se intercaló durante el lapso de curado para esta mezcla.

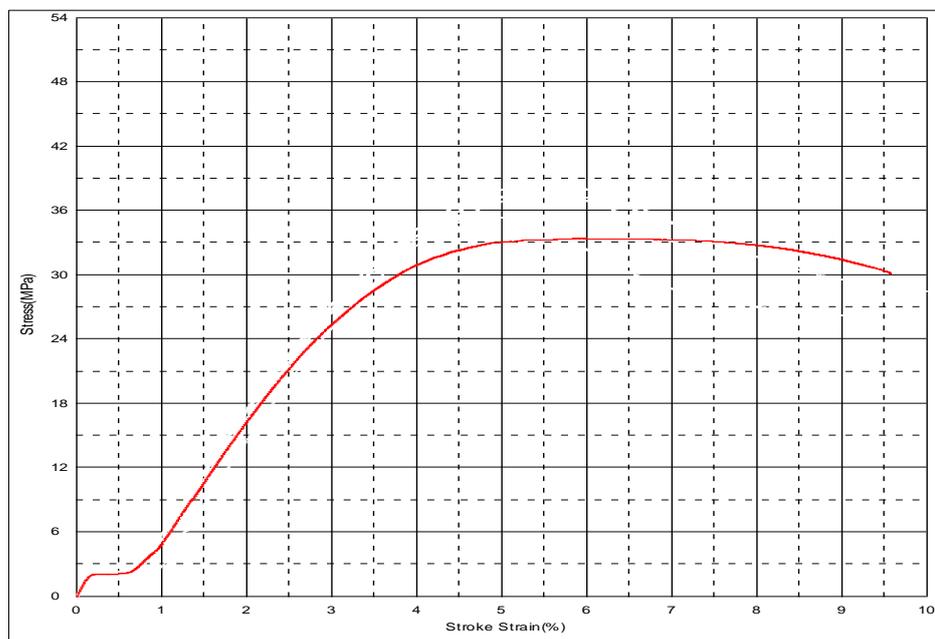
4.6. Propiedades Mecánicas de Pinturas a Base de Epóxicas, Aminas y Nanoarcilla.

En esta sección se analizaron las propiedades mecánica como el módulo de Young, esfuerzo de tensión máximo, deformación máxima, esfuerzo ultimo de rotura, los valores fueron obtenidos por medio del ensayo de tensión en la maquina universal de ensayos, se tensionaron hasta romperse seis probetas por sistema con y sin arcilla con un total de 48 probetas las cuales se curaron por siete días a temperatura ambiente y humedad relativa baja, los componentes base fueron la resinas GE-60 con las aminas EDR-148, EDR-176, TETA, TEPA junto con la arcilla C93A, además se adjuntó los datos obtenidos de las pruebas de tensión de las probetas bajo el mismo procedimiento y norma a base de GE-60

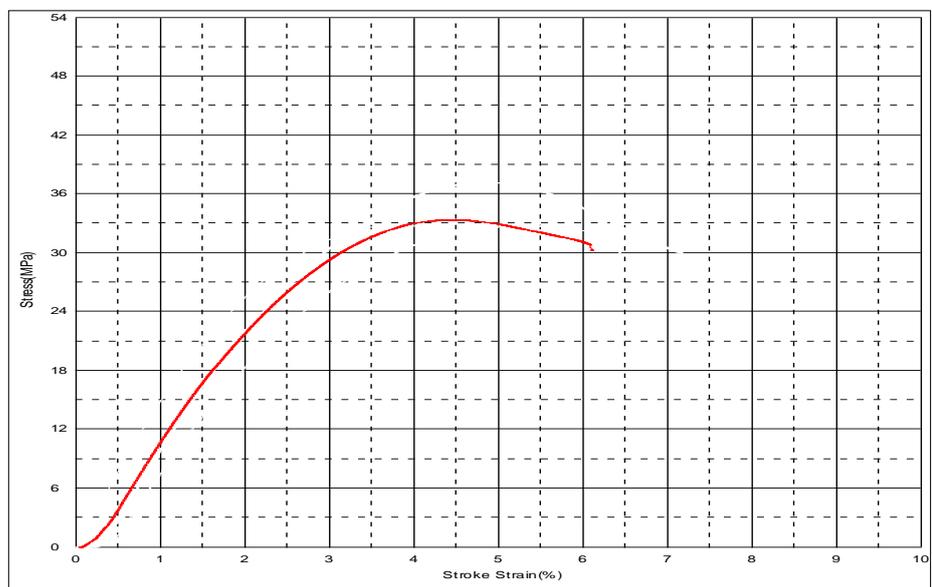
con D-230 y T-403 con arcilla C93A de una tesis que trató estos sistemas, de esta manera se pudo cuantificar cómo influye en estas propiedades mencionadas la arcilla C93A, los datos obtenidos se tabularon y analizaron con los programas TRAPEZIUM, MICROSOFT EXCELL y MICROCAL ORIGIN, al final se hizo la respectiva comparación entre mezclas con y sin arcilla, los datos se muestran a continuación.

TABLA 20
VALORES PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
PROBETAS CURADAS DE EDR-148 CON C93A

Cód.	Mod. Elást. (MPa)	Max. Esf. (MPa)	Esf. Rotura (MPa)	Max. Defor. (%)	Dureza Shore	Energía Rotura (J)
EDR148-3	1.174,39	35,41	25,54	4,35	77,77	2,00
EDR148-4	1.191,96	38,49	34,43	5,01	77,73	1,55
EDR148-5	1.163,70	37,68	33,04	4,85	77,83	1,84
EDR148-6	1.189,32	37,52	27,46	4,81	77,73	3,66
					77,50	
Media	1.179,84	37,27	30,12	4,76	77,71	2,26
Desv. Est.	13,25	1,31	4,29	0,28	0,02	0,95
CVx100%	0,01	0,04	0,14	0,06	0,00	0,42
EDR148C-2	1.140,74	32,83	30,10	4,90	78,37	1,32
EDR148C-3	1.340,49	37,29	28,76	4,58	78,40	1,75
EDR148C-6	1.288,65	32,90	32,17	3,96	78,77	0,69
					78,60	
					78,53	
Media	1.256,63	34,34	30,35	4,48	78,53	1,25
Desv. Est.	103,65	2,55	1,71	0,48	0,25	0,53
CVx100%	0,08	0,07	0,06	0,11	0,00	0,43



**FIGURA 4.84. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE
GE-60+EDR-148**



**FIGURA 4.85. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE
GE-60+EDR-148+C93A**

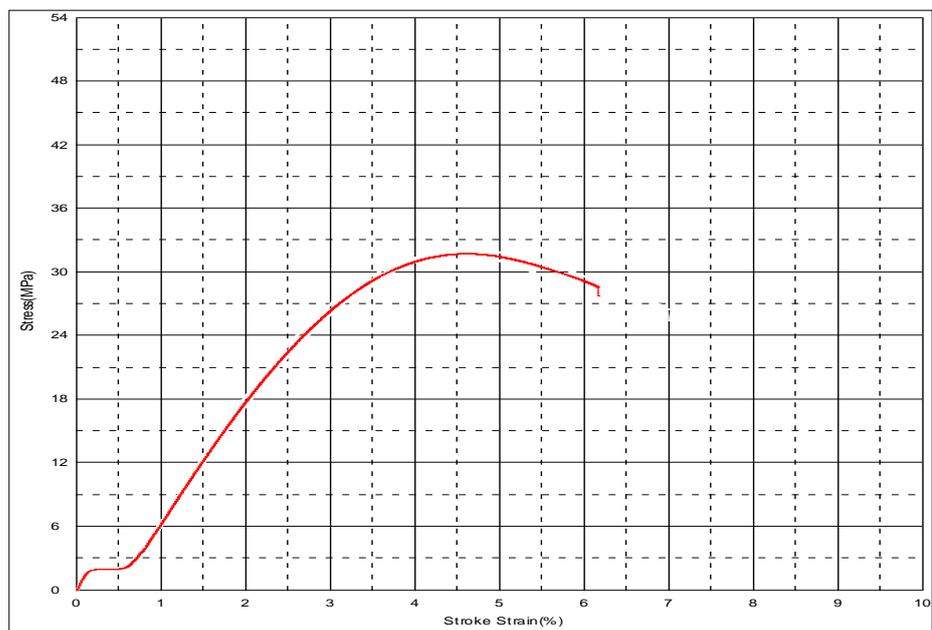
En las figuras 4.84 y 4.85 se ve claramente como disminuyó el esfuerzo máximo y la deformación, con los datos tabulados en la tabla 20 al realizar las comparaciones respectivas de este sistema con la arcilla C93A se pudo encontrar los siguientes cambios en estas propiedades:

- El modulo elástico o de Young aumentó en un 10%.
- El esfuerzo máximo de tensión disminuyó en un 8%.
- El esfuerzo de rotura aumentó en 1%.
- La máxima deformación por tensión disminuyó en un 6%.
- La dureza shore por compresión aumentó en 1%.
- La energía de rotura disminuyó en un 45%.

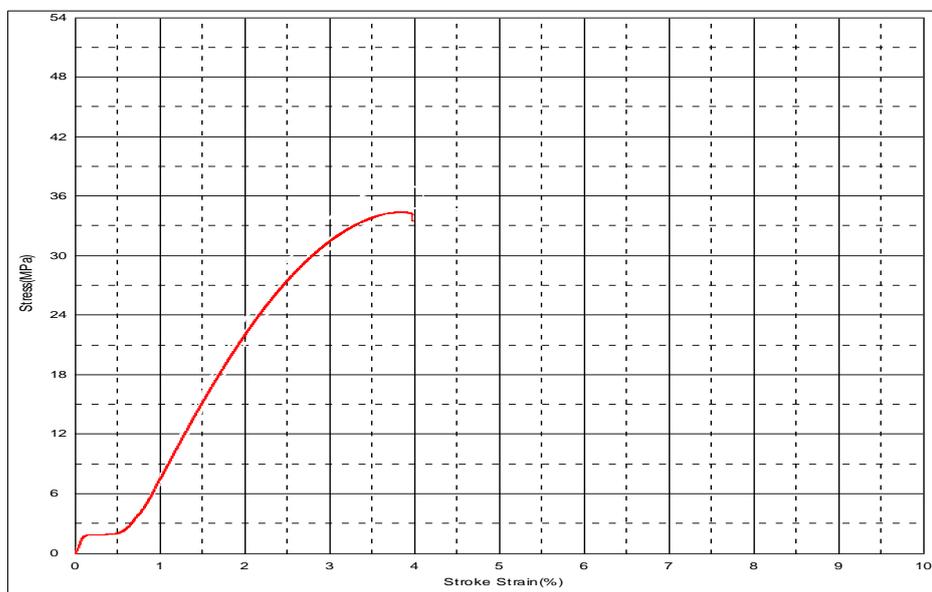
Por las observaciones obtenidas se puede ver claramente que la arcilla cloisite C93A al ser agregada en este sistema epóxico produce un efecto de rigidez al aumentar el modulo elástico y su dureza, bajando su ductilidad al disminuir el esfuerzo máximo de tensión, deformación y energía de rotura.

TABLA 21
VALORES PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
PROBETAS CURADAS DE EDR-176 CON C93A

Cód.	Mod. Elást. (MPa)	Max. Esf. (MPa)	Esf. Rotura (MPa)	Max. Def. (%)	Dureza Shore	Energía Rotura (J)
EDR176-1	1.177,91	31,83	28,39	4,00	77,30	0,91
EDR176-2	1.163,34	32,04	29,66	4,28	77,93	1,26
EDR176-3	1.159,85	32,15	25,48	4,20	77,70	1,33
					77,27	
					77,30	
Media	1.167,03	32,01	27,84	4,16	77,50	1,17
Desv. Est.	9,58	0,16	2,14	0,14	0,29	0,23
CVx100%	0,01	0,01	0,08	0,03	0,00	0,20
EDR176C-3	1.725,19	37,18	34,58	3,28	78,60	0,89
EDR176C-5	1.468,56	34,98	33,88	3,72	78,90	0,91
EDR176C-6	1.583,41	32,32	32,32	2,58	78,73	0,46
					78,87	
					78,47	
Media	1.592,39	34,83	33,59	3,19	78,71	0,75
Desv. Est.	128,55	2,43	1,16	0,57	0,28	0,26
CVx100%	0,08	0,07	0,03	0,18	0,00	0,34



**FIGURA 4.86. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE
GE-60+EDR-176**



**FIGURA 4.87. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE
GE-60+EDR-176+C93A**

En las figuras 4.86 y 4.87 se ve como aumenta ligeramente el esfuerzo máximo de tensión y disminuye la deformación, con los datos tabulados en la tabla 21 al realizar las comparaciones respectivas de este sistema con la arcilla C93A se pudo encontrar los siguientes cambios en estas propiedades:

- El modulo elástico o de Young aumentó en un 36%.
- El esfuerzo máximo de tensión aumentó en un 9%.
- El esfuerzo de rotura aumentó en 21%.
- La máxima deformación por tensión disminuyó en un 23%.
- La dureza shore por compresión aumentó en 2%.
- La energía de rotura disminuyó en un 36%.

Por las observaciones obtenidas se puede ver claramente que la arcilla cloisite C93A al ser agregada en este sistema epóxico produce un efecto de rigidez al aumentar el modulo elástico, esfuerzo de tensión máxima y su dureza, bajando su ductilidad al disminuir la deformación y energía de rotura.

TABLA 22
COMPARATIVO DE PROPIEDADES MECÁNICAS ENTRE
PROBETAS DE GE-60 CON EDR-148 Y EDR-176

	Sin C93A		C93A	
	GE-60 EDR-148	GE-60 EDR-176	GE-60 EDR-148	GE-60 EDR-176
M. (MPa)	1,180 ± 13.25 n=4	1,167 ± 9.58 n=3	1,257 ± 103.65 n=3	1,592 ± 128.55 n=3
T. (MPa)	37.27 ± 1.31 n=4	32.01 ± 0.16 n=3	34.34 ± 2.55 n=3	34.83 ± 2.43 n=3
R. (MPa)	30.12 ± 4.29 n=4	27.84 ± 2.14 n=3	30.35 ± 1.71 n=3	33.59 ± 1.16 n=3
E. R. (J)	2.26 ± 0.95 n=4	1.17 ± 0.23 n=3	1.25 ± 0.53 n=3	0.75 ± 0.23 n=3
D. (%)	4.76 ± 0.28 n=4	4.16 ± 0.14 n=3	4.48 ± 0.48 n=3	3.19 ± 0.57 n=3
D. Shore	77.71 ± 0.23 n=4	77.50 ± 0.29 n=3	78.53 ± 0.25 n=3	78.71 ± 0.28 n=3

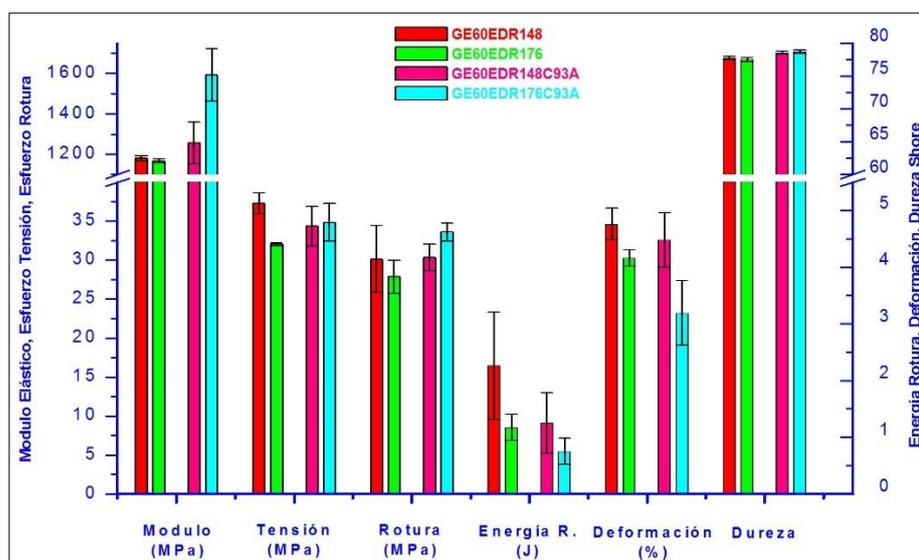


FIGURA 4.88. DIAGRAMA DE BARRAS PARA PROPIEDADES
MECÁNICA DE GE-60 CON EDR-148 Y EDR-176

En la figura 4.88 al comparar los valores promedio de estas propiedades entre estos dos sistemas con aminas con estructura molecular similar se pudo contrastar el efecto de la arcilla C93A, con la ayuda de la tabla 22 se encontraron las siguientes observaciones para estas propiedades:

- Ambos sistemas poseen módulos de elasticidad, deformaciones y durezas shore similares sin arcilla.
- El sistema curado con la amina EDR-148 posee esfuerzos de tensión, de rotura y energía de rotura mayor al sistema curado con EDR-176, ambos sin arcilla.
- El módulo de elasticidad del sistema con arcilla curado con EDR-176 superó al del sistema con arcilla curado con EDR-148 en un 27%.
- El esfuerzo de tensión máximo del sistema con arcilla curado con EDR-176 superó al del sistema con arcilla curado con EDR-148 en un 1%.
- El esfuerzo de rotura del sistema con arcilla curado con EDR-176 superó al del sistema con arcilla curado con EDR-148 en un 11%.
- La energía de rotura del sistema con arcilla curado con EDR-176 fue menor en un 40% comparado con el del sistema con arcilla curado con EDR-148.

- La deformación del sistema con arcilla curado con EDR-176 fue menor en un 29% comparado con el del sistema con arcilla curado con EDR-148.
- La dureza shore para ambos sistemas con arcilla mantuvieron con iguales magnitudes.

De este comparativo realizado se obtuvo que la arcilla C93A reforzó en mayor cantidad las propiedades de módulo de Young, esfuerzo máximo de tensión y esfuerzo de rotura del sistema curado con EDR-176, dándole un efecto de rigidez a la matriz por lo que su ductilidad baja notablemente en la energía de rotura y deformación.

TABLA 23
VALORES PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
PROBETAS CURADAS DE D-230 CON C93A

Cód.	Mod. Elást. (MPa)	Max. Esf. (MPa)	Esf. Rotura (MPa)	Max. Def. (%)	Dureza Shore	Energía Rotura (J)
D230-1	1.095,44	34,78	24,34	4,75	77,30	1,60
D230-3	1.179,21	30,55	28,27	4,11	77,93	0,87
D230-4	1.046,29	25,61	22,73	4,21	77,70	1,47
D230-6	972,04	30,32	0,00	3,59	77,27	0,89
					77,30	
Media	1.073,25	28,57	25,11	4,16	76,87	1,21
Desv. Est.	86,97	5,12	2,85	0,48	1,18	0,38
CVx100%	0,08	0,18	0,11	0,11	0,02	0,32
D230C-1	1.140,77	26,76	25,68	3,64	77,27	0,53
D230C-2	1.228,56	29,71	29,57	3,76	76,80	0,61
D230C-4	1.549,97	29,49	27,87	3,02	76,40	0,50
D230C-5	1.174,38	25,49	24,56	3,66	76,67	0,65
D230C-6	1.402,21	29,48	29,47	2,81	76,83	0,42
Media	1.299,18	28,19	27,43	3,38	76,79	0,54
Desv. Est.	172,60	1,94	2,25	0,43	0,37	0,09
CVx100%	0,13	0,07	0,08	0,13	0,00	0,17

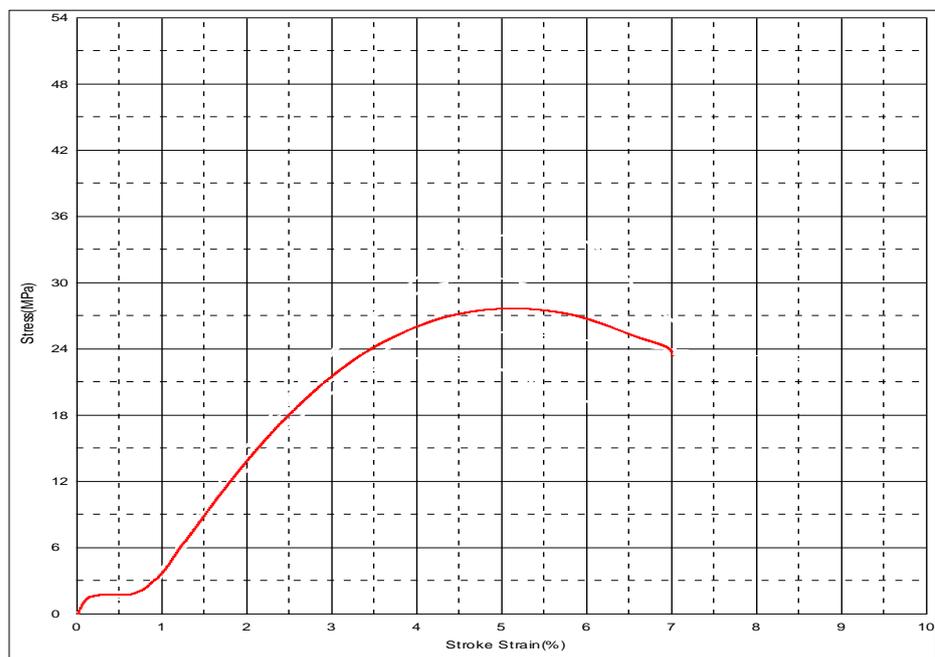
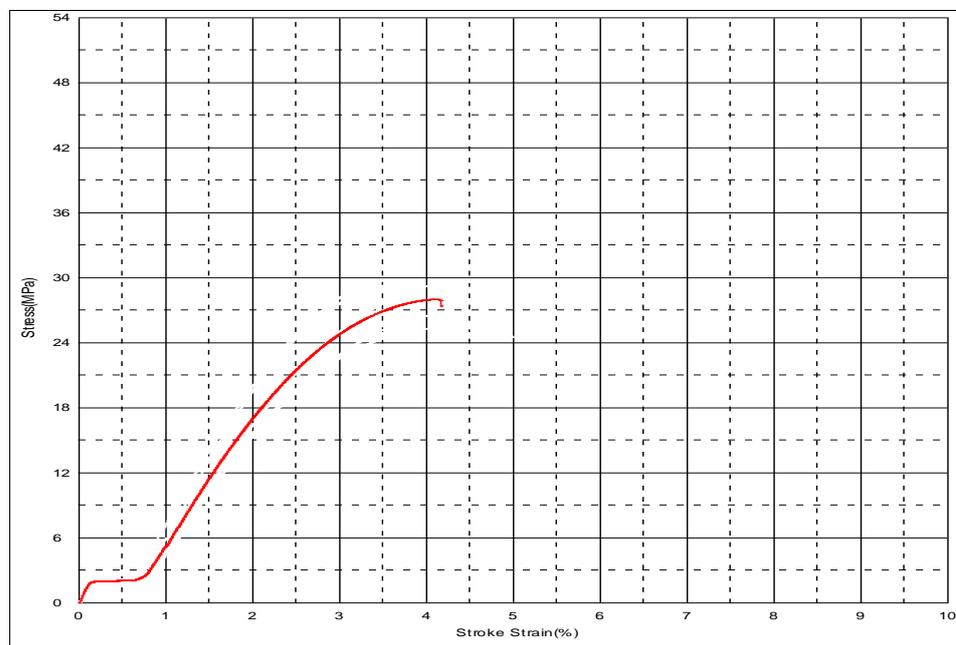


FIGURA 4.89. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE GE-60+D-230



**FIGURA 4.90. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE
GE-60+D-230+C93A**

En las figuras 4.89 y 4.90 se ve claramente como baja el esfuerzo máximo y la deformación, con los datos tabulados en la tabla 23 se realizaron los comparativos de este sistema con la arcilla C93A encontrándose los siguientes cambios para estas propiedades:

- El modulo elástico o de Young aumentó en un 21%.
- El esfuerzo máximo de tensión disminuyó en un 1%.
- El esfuerzo de rotura aumentó en 9%.
- La máxima deformación por tensión disminuyó en un 19%.
- La dureza shore se mantuvo igual para ambos sistemas
- La energía de rotura disminuyó en un 55%.

Por las observaciones obtenidas se puede ver claramente que la arcilla cloisite C93A al ser agregada en este sistema epóxico produce un efecto de rigidez al aumentar el módulo de Young y esfuerzo de rotura, bajando su ductilidad al disminuir el esfuerzo máximo de tensión, deformación y energía de rotura.

TABLA 24
VALORES PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
PROBETAS CURADAS DE T-403 CON C93A

Cód.	Mod. Elást. (MPa)	Max. Esf. (MPa)	Esf. Rotura (MPa)	Max. Def. (%)	Dureza Shore	Energía Rotura (J)
T403-1	1.448,25	40,75	39,69	3,82	76,37	0,88
T403-3	1.663,08	37,21	29,53	3,12	76,60	0,81
T403-4	1.378,41	37,23	36,80	3,69	76,53	0,72
T403-5	1.403,33	38,07	38,06	3,76	76,07	0,92
T403-6	1.617,67	36,02	32,04	3,59	77,57	1,14
Media	1.441,92	36,01	35,22	3,60	76,63	0,89
Desv. Est.	187,65	4,80	4,27	0,25	1,14	0,16
CVx100%	0,13	0,13	0,12	0,07	0,01	0,18
T403C-1	1.740,26	33,19	33,19	2,51	76,27	0,45
T403C-3	1.648,37	30,42	29,74	2,47	76,63	0,49
T403C-5	1.898,04	33,13	32,93	2,48	76,97	0,48
					78,37	
					78,37	
Media	1.762,22	32,25	31,95	2,48	77,32	0,48
Desv. Est.	126,28	1,58	1,92	0,02	1,06	0,02
CVx100%	0,07	0,05	0,06	0,01	0,01	0,05

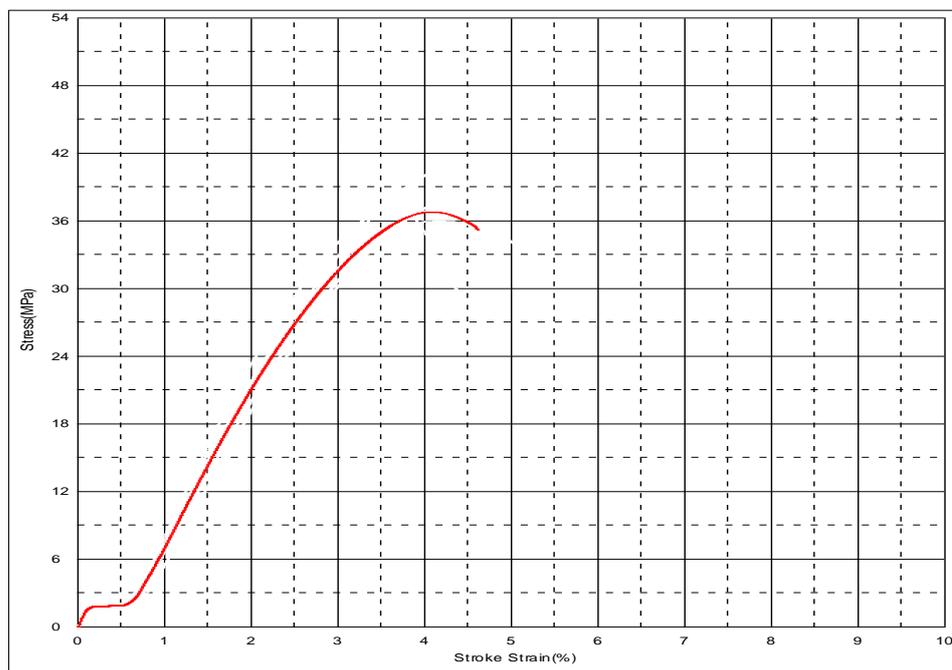
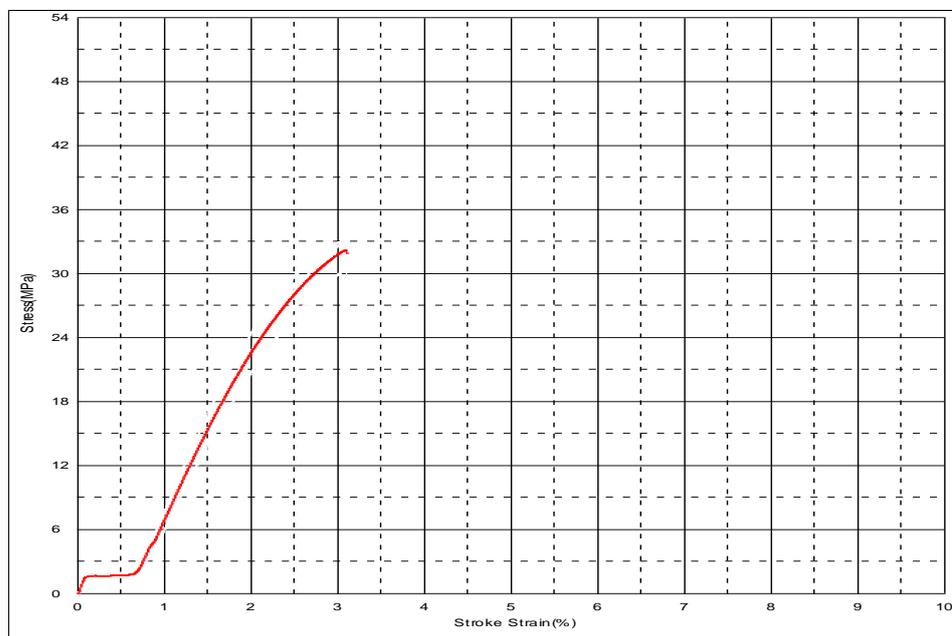


FIGURA 4.91. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE GE-60+T-403



**FIGURA 4.92. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE
GE-60+T-403+C93A**

En las figuras 4.91 y 4.92 se ve claramente como baja el esfuerzo máximo y la deformación, con los datos tabulados en la tabla 24 se realizaron las comparaciones respectivas de este sistema con la arcilla C93A, encontrándose las siguientes observaciones para estas propiedades:

- El modulo elástico o de Young aumentó en un 22%.
- El esfuerzo máximo de tensión disminuyó en un 10%.
- El esfuerzo de rotura disminuyó en un 9%.
- La máxima deformación por tensión disminuyó en un 31%.
- La dureza shore por compresión aumentó en 1%.
- La energía de rotura disminuyó en un 46%.

Por las observaciones obtenidas el efecto de la arcilla cloisite C93A al ser agregado en este sistema epóxico produce un efecto de rigidez al aumentar el modulo elástico y su dureza, bajando su ductilidad al disminuir el esfuerzo máximo de tensión, esfuerzo de rotura, deformación y energía de rotura.

TABLA 25
COMPARATIVO DE PROPIEDADES MECÁNICAS ENTRE
PROBETAS DE GE-60 CON D-230 Y T-403

	Sin C93A		C93A	
	GE-60 D-230	GE-60 T-403	GE-60 D-230	GE-60 T-403
M. (MPa)	1,073 ± 86.97 n=4	1,442 ± 187.65 n=5	1,299 ± 172.60 n=5	1,762 ± 126.28 n=3
T. (MPa)	28.57 ± 5.12 n=4	36.01 ± 4.80 n=5	28.19 ± 1.94 n=5	32.25 ± 1.58 n=3
R. (MPa)	25.11 ± 2.85 n=4	35.22 ± 4.27 n=5	27.43 ± 2.25 n=5	31.95 ± 1.92 n=3
E. R. (J)	1.21 ± 0.38 n=4	0.89 ± 0.16 n=5	0.54 ± 0.09 n=5	0.48 ± 0.02 n=3
D. (%)	4.16 ± 0.48 n=4	3.60 ± 0.25 n=5	3.38 ± 0.43 n=5	2.48 ± 0.02 n=3
D. Shore	77.71 ± 0.23 n=4	77.50 ± 0.29 n=3	78.53 ± 0.25 n=3	78.71 ± 0.28 n=3

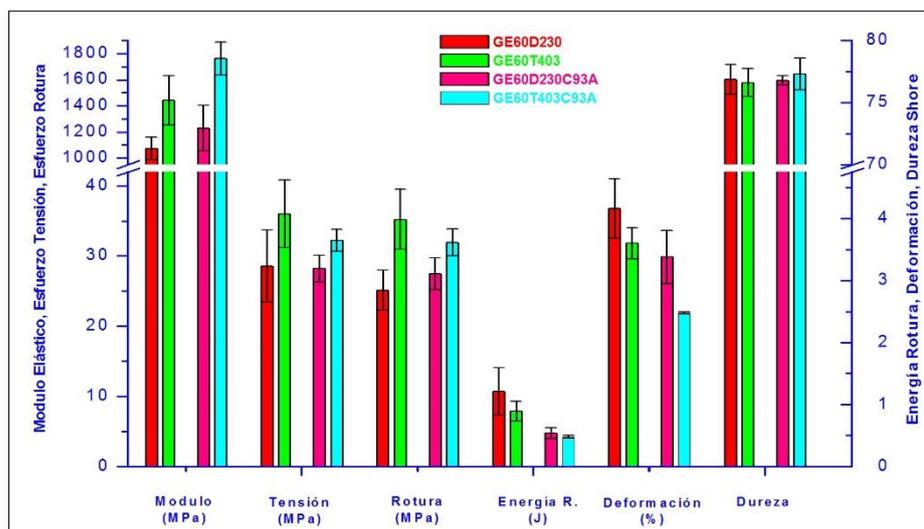


FIGURA 4.93. DIAGRAMA DE BARRAS PARA PROPIEDADES
MECÁNICA DE GE-60 CON D-230 Y T-403

En la figura 4.93 al comparar los valores promedio de estas propiedades entre estos dos sistemas se pudo contrastar el efecto de la arcilla C93A, con la ayuda de la tabla 25 se encontraron las siguientes observaciones para estas propiedades:

- Ambos sistemas poseen durezas shore similares sin arcilla.
- El sistema curado con la amina T-403 posee el módulo de tensión, esfuerzo de tensión y de rotura mayor al sistema curado con D-230, ambos sin arcilla.
- El sistema curado con la amina D-230 posee la energía de rotura, deformación y dureza mayor al sistema curado con T-403, ambos sin arcilla.
- El módulo de elasticidad del sistema con arcilla curado con T-403 superó al del sistema con arcilla curado con D-230 en un 36%.
- El esfuerzo de tensión máximo del sistema con arcilla curado con T-403 superó al del sistema con arcilla curado con D-230 en un 14%.
- El esfuerzo de rotura del sistema con arcilla curado con T-403 superó al del sistema con arcilla curado con D-230 en un 17%.
- La energía de rotura del sistema con arcilla curado con T-403 fue menor en un 11% comparado con el del sistema con arcilla curado con D-230.

- la deformación del sistema con arcilla curado con T-403 fue menor en un 27% comparado con el del sistema con arcilla curado con D-230.
- La dureza shore para ambos sistemas con arcilla mantuvieron con similares magnitudes.

De este comparativo realizado se obtuvo que la arcilla C93A reforzó en mayor cantidad las propiedades de módulo de Young, esfuerzo máximo de tensión y esfuerzo de rotura del sistema curado con T-403, dándole un efecto de rigidez a la matriz por lo que su ductilidad baja notablemente en la energía de rotura y deformación.

TABLA 26
VALORES PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
PROBETAS CURADAS DE TETA CON C93A

Cód.	Mod. Elást. (MPa)	Max. Esf. (MPa)	Esf. Rotura (MPa)	Max. Def. (%)	Dureza Shore	Energía Rotura (J)
TETA-2	1.363,83	27,98	27,82	3,48	80,40	0,71
TETA-4	1.378,30	24,49	24,49	1,94	79,97	0,22
TETA-5	1.192,84	24,28	24,28	2,58	78,80	0,30
					80,07	
					80,37	
Media	1.311,66	25,59	25,53	2,67	79,92	0,41
Desv. Est.	103,15	2,08	1,98	0,77	0,74	0,27
CVx100%	0,08	0,08	0,08	0,29	0,01	0,65
TETAC-2	1.505,77	43,17	43,17	4,06	79,97	1,05
TETAC-4	1.695,48	37,31	37,31	2,74	80,53	0,56
TETAC-6	1.870,77	41,04	41,04	2,74	80,53	0,55
					80,33	
					81,67	
Media	1.690,67	40,51	40,51	3,18	80,61	0,72
Desv. Est.	182,55	2,97	2,97	0,76	0,73	0,28
CVx100%	0,11	0,07	0,07	0,24	0,01	0,39

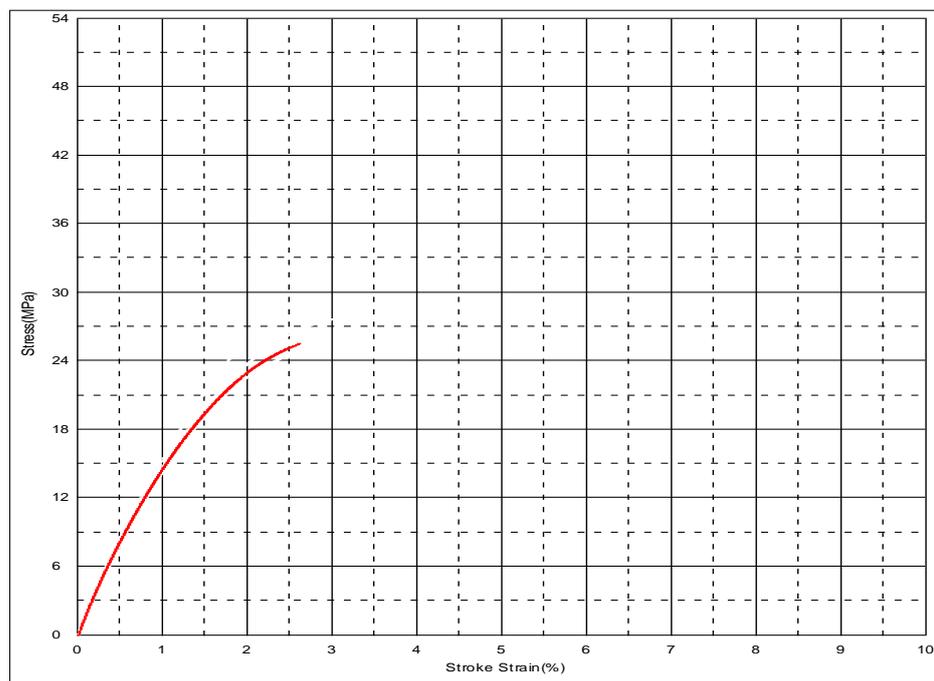
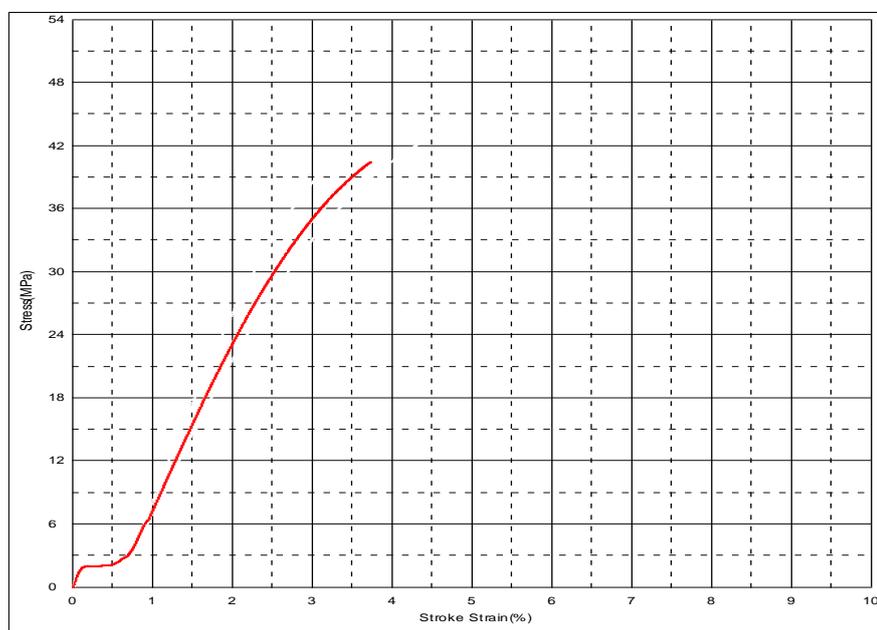


FIGURA 4.94. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE GE-60+TETA



**FIGURA 4.95. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE
GE-60+TETA+C93A**

En las figuras 4.94 y 4.95, se ve claramente como baja el esfuerzo máximo y la deformación, con los datos tabulados en la tabla 26 realizando las comparaciones respectivas de este sistema con la arcilla C93A se pudo encontrar las siguientes observaciones para estas propiedades:

- El modulo elástico o de Young aumentó en un 29%.
- El esfuerzo máximo de tensión aumentó en un 58%.
- El esfuerzo de rotura aumentó en 59%.
- La máxima deformación por tensión aumentó en un 19%.
- La dureza shore por compresión aumentó en 1%.
- La energía de rotura aumentó en un 76%.

El reforzamiento que produce la arcilla cloisite C93A en todas las propiedades al ser agregado en este sistema epóxico produce un efecto de rigidez al aumentar el modulo elástico, esfuerzo máximo de tensión, esfuerzo de rotura, deformación, dureza y energía de rotura.

TABLA 27
VALORES PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
PROBETAS CURADAS DE TEPAC CON C93A

Cód.	Mod. Elást. (MPa)	Max. Esf. (MPa)	Esf. Rotura (MPa)	Max. Def. (%)	Dureza Shore	Energía Rotura (J)
TEPA-1	1.913,41	51,27	51,27	3,72	83,57	1,07
TEPA-4	1.904,77	54,28	52,65	4,50	82,27	1,46
TEPA-5	1.844,28	48,26	47,89	4,31	82,67	1,56
					82,23	
					82,20	
Media	1.887,49	51,27	50,60	4,17	82,59	1,36
Desv. Est.	37,67	3,01	2,45	0,41	0,72	0,26
CVx100%	0,02	0,06	0,05	0,10	0,01	0,19
TEPAC-1	1.628,26	32,82	32,81	3,06	83,30	0,65
TEPAC-2	1.616,91	27,34	27,34	2,09	82,77	0,32
TEPAC-3	1.744,25	33,81	33,40	2,41	82,63	0,46
					81,90	
					82,77	
Media	1.663,14	31,32	31,18	2,52	82,67	0,48
Desv. Est.	70,47	3,49	3,34	0,49	1,01	0,17
CVx100%	0,04	0,11	0,11	0,20	0,01	0,35

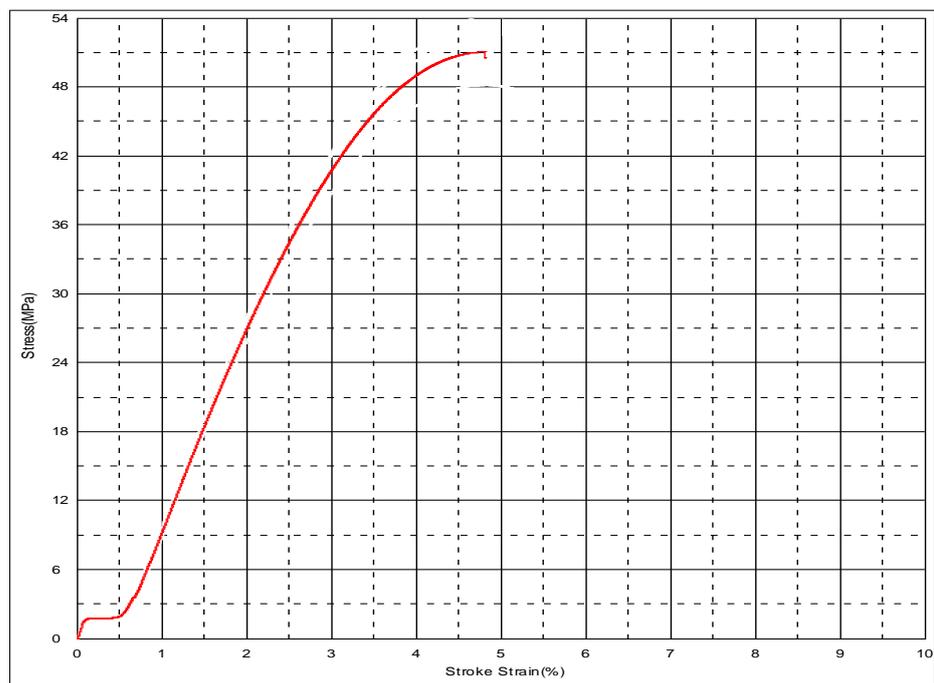
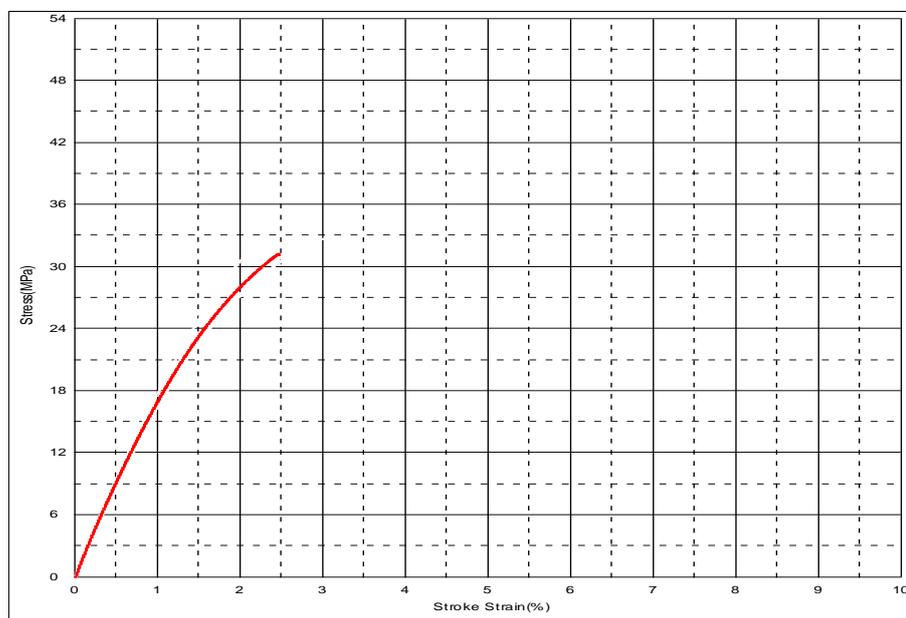


FIGURA 4.96. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE GE-60+TEPA



**FIGURA 4.97. ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE
GE-60+TEPA+C93A**

En las figuras 4.96 y 4.97 se ve claramente como baja el esfuerzo máximo y la deformación, con los datos tabulados en la tabla 27 se realizaron las comparaciones respectivas de este sistema con la arcilla C93A encontrándose los siguientes cambios en estas propiedades:

- El modulo elástico o de Young disminuyó en un 12%.
- El esfuerzo máximo de tensión disminuyó en un 39%.
- El esfuerzo de rotura disminuyó en 38%.
- La máxima deformación por tensión disminuyó en un 40%.
- La dureza shore por compresión se mantuvieron iguales.
- La energía de rotura disminuyó en un 65%.

Por las observaciones obtenidas se puede ver claramente que la arcilla cloisite C93A al ser agregado en este sistema epóxico no produjo efectos de mejoras en las propiedades, contrario a lo esperado produjo una merma en la resistencia mecánica en este sistema, en parte puede deberse a una incompatibilidad de las partículas de arcilla con este sistema.

TABLA 28
COMPARATIVO DE PROPIEDADES MECÁNICAS ENTRE LAS
PROBETAS DE GE-60 CON TETA Y TEPA

	Sin C93A		C93A	
	GE-60 TETA	GE-60 TEPA	GE-60 TETA	GE-60 TEPA
M. (MPa)	1,312 ± 103.15 n=3	1,888 ± 37.67 n=3	1,691 ± 182.55 n=3	1,663 ± 70.47 n=3
T. (MPa)	25.59 ± 2.08 n=3	51.27 ± 3.01 n=3	40.51 ± 2.97 n=3	31.32 ± 3.49 n=3
R. (MPa)	25.53 ± 1.58 n=3	50.60 ± 2.45 n=3	40.51 ± 2.97 n=3	31.18 ± 3.34 n=3
E. R. (J)	0.41 ± 0.27 n=3	1.36 ± 0.26 n=3	0.72 ± 0.28 n=3	0.48 ± 0.17 n=3
D. (%)	2.67 ± 0.77 n=3	4.17 ± 0.41 n=3	3.18 ± 0.79 n=3	2.52 ± 0.49 n=3
D. Shore	79.92 ± 0.74 n=3	82.59 ± 0.72 n=3	80.61 ± 0.73 n=3	82.67 ± 1.01 n=3

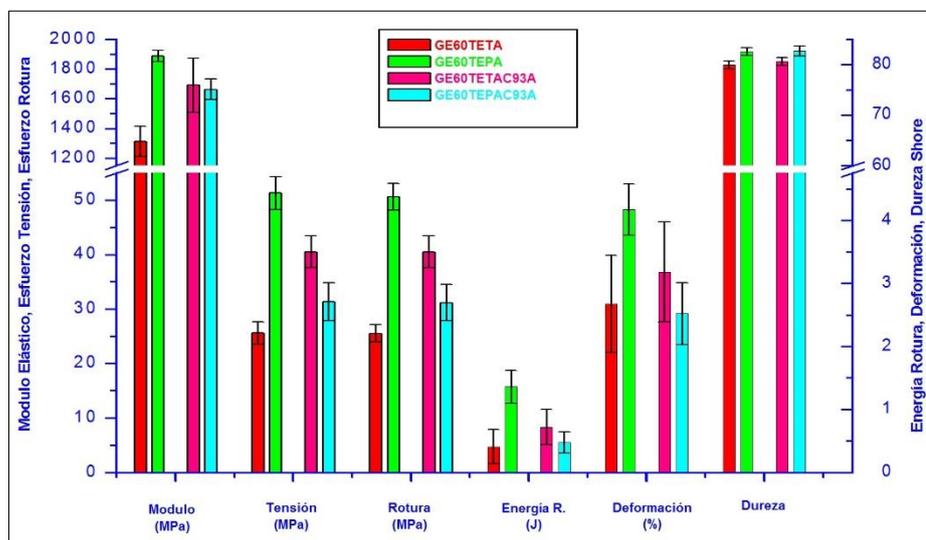


FIGURA 4.98. DIAGRAMA DE BARRAS PARA PROPIEDADES
MECÁNICA DE GE-60 CON TETA Y TEPA

En la figura 4.98 al comparar los valores promedio de estas propiedades entre estos dos sistemas se pudo contrastar el efecto de la arcilla C93A, con la ayuda de la tabla 28 se encontraron las siguientes observaciones para estas propiedades:

- El sistema curado con la amina TEPA posee todas sus propiedades con valores superiores a los del sistema curado con TETA, ambos sin arcilla.
- El módulo de elasticidad del sistema con arcilla curado con TETA superó al del sistema con arcilla curado con TEPA en un 2%.
- El esfuerzo de tensión máximo del sistema con arcilla curado con TETA superó al del sistema con arcilla curado con TEPA en un 29%.
- El esfuerzo de rotura del sistema con arcilla curado con TETA superó al del sistema con arcilla curado con TEPA en un 30%.
- La energía de rotura del sistema con arcilla curado con TETA superó en un 50% a la del sistema con arcilla curado con TEPA.
- la deformación del sistema con arcilla curado con TETA superó en un 26% comparado a la del del sistema con arcilla curado con TEPA.
- La dureza shore para ambos sistemas con arcilla mantuvieron con similares magnitudes.

De este comparativo realizado se obtuvo que la arcilla C93A reforzó en mayor cantidad las propiedades de módulo de Young, esfuerzo máximo de tensión, esfuerzo de rotura del sistema curado con TETA, sin afectar su ductilidad debido a que la deformación y energía de rotura aumentaron. Las figuras se obtuvieron del programa TRAPEZIUM2, producto del promedio de las muestras más representativas escogidas y tabuladas de cada sistema, cabe mencionar que la compensación del TOE gráficamente no fue posible por este programa sin embargo los valores de deformación unitaria dados por este programa ya son presentados con esta corrección. Al realizar un comparativo general entre las seis aminas empleadas como curadores con la resinas GE-60 antes de combinarse con la arcilla las mejores propiedades están dadas en el siguiente orden, para la TEPA en primer lugar seguida de la EDR-148, T-403, EDR-176, TETA y D-230, establecido este orden al realizarse las mezclas agregando la arcilla C93A, según el diagrama de barras de propiedades mecánicas obtenido, el sistema con arcilla curado con las mejores propiedades fue para la amina TETA, seguida por la EDR-176, EDR-148, T-403, TEPA y D-230 respectivamente. (Ver APÉNDICE P).

4.7. Microscopía de Barrido Electrónico de Pinturas a Base de Epóxicas, Aminas, Nanoarcilla e Inhibidor de Corrosión.

Para esta última sección se analizaron las secciones de falla de las probetas tensionadas en la sección anterior, específicamente se escogieron las secciones de falla de las probetas curadas de GE-60 con EDR-176 y con un 5% en masa de C93A, previamente se realizó el respectivo recubrimiento metálico con platino para hacer visible la microestructura y obtener figuras en tiempo real por medio de microscopía de barrido electrónico, así se visualizó la dispersión de arcilla en la matriz epóxica junto con las líneas de fallas en el material, las figuras capturadas a 450x y 2340x de aumento permitió inferir cualitativamente sobre la dispersión que tuvo la arcilla con este sistema para así entrelazar las otras propiedades obtenidas en las secciones anteriores, las figuras grabadas con este microscopio de barrido electrónico se muestran a continuación.

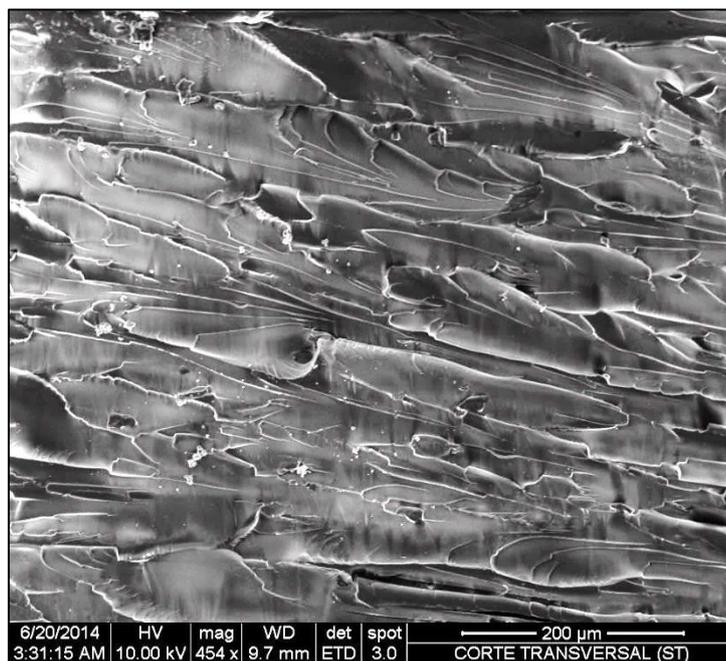
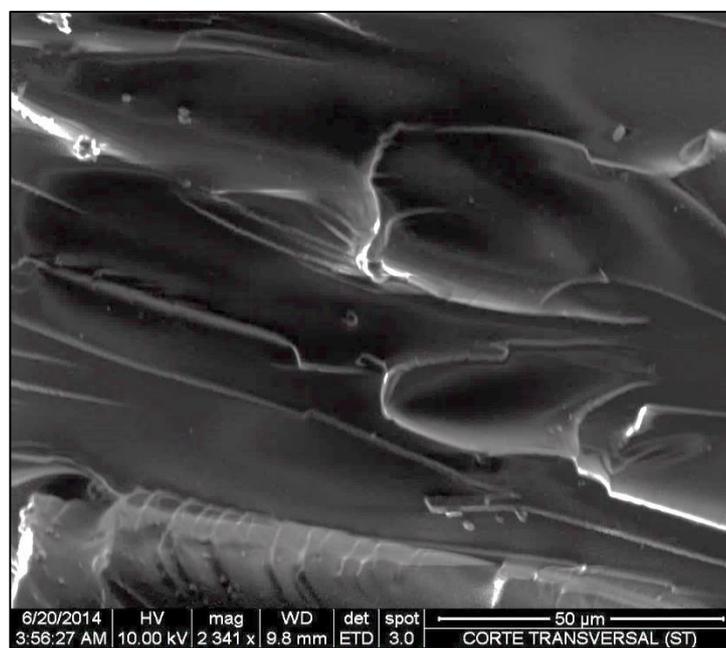


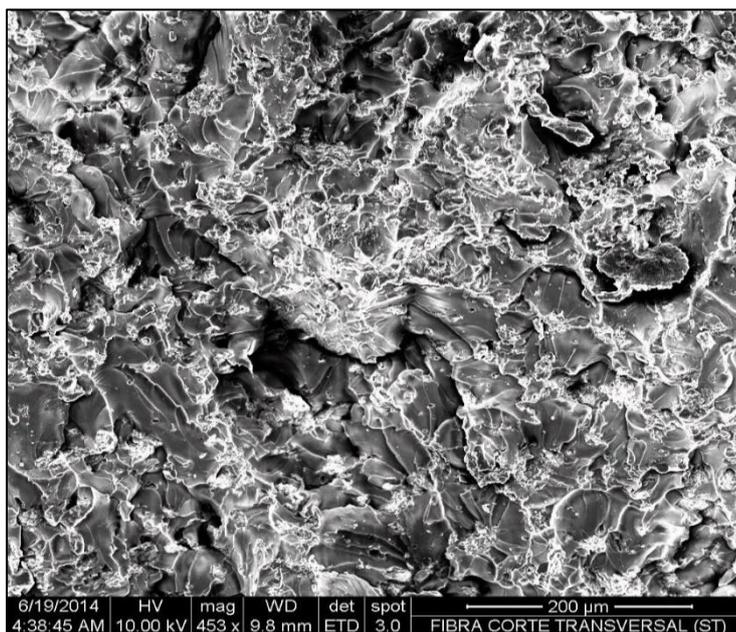
FIGURA 4.99. SECCIÓN DE FALLA A 450X DE GE-60+EDR-176



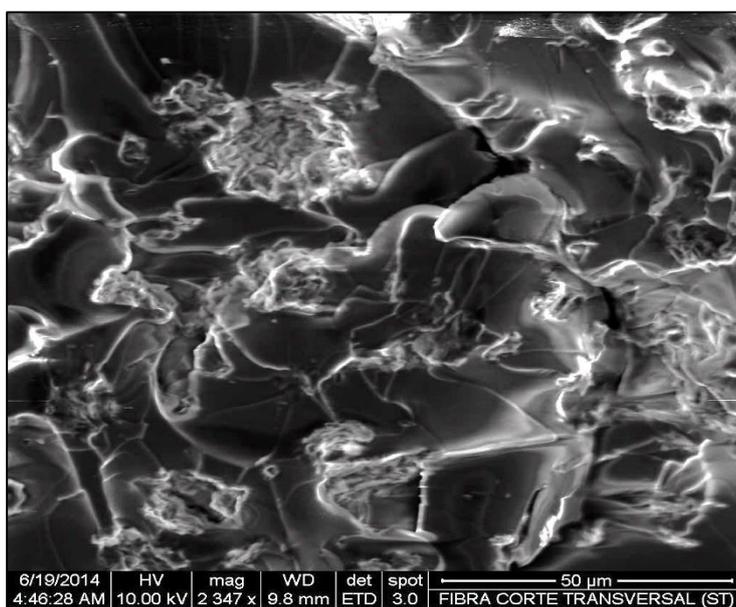
**FIGURA 4.100. SECCIÓN DE FALLA A 2340X DE
GE-60+EDR-176**

Al observar la figura 4.99 se hace notoria la presencia de las líneas de microfallas dispersas en la microestructura de este sistema, dichas líneas al conectarse con otras a la vez generaron la fractura en la sección observada, en la figura 4.100 se puede ver en mayor detalle cómo se inician y propagan estas microfallas debido a las imperfecciones presentes en la matriz que concentran el esfuerzo aplicado provocando la fractura en esa parte, ambas figuras a 450x y 2340x de aumento permitió inferir en cómo se produjo la rotura en este sistema de carácter frágil.

Si a este mismo sistema se le añade un 5% de arcilla C93A de la masa total las propiedades mecánicas como se vio en la sección anterior sufrieron un aumento en su resistencia a costa de disminuir su ductilidad, con esta premisa se muestran a continuación las figuras obtenidas del SEM para este mismo sistema ahora reforzada con dicha arcilla.



**FIGURA 4.101. SECCIÓN DE FALLA A 450X DE
GE-60+EDR-176+C93A**



**FIGURA 4.102. SECCIÓN DE FALLA A 2340X DE
GE-60+EDR-176+C93A**

Al observar la figura 4.101 se hace evidente la presencia de la nanoarcilla dispersa en la matriz observable por el microscopio, presentes en forma de hojuelas esta nanoarcilla provoca el reforzamiento de esta matriz aumentando su resistencia, al acercarnos aún más como se muestra en la figura 4.102 se puede observar como la arcilla forma cúmulos dispersos los cuales se conectan debido a las líneas de microfallas, estas emergen radialmente a los cúmulos, los mismos que son los responsable de aumentar la resistencia de esta probeta basado en este sistema mencionado, al estimar los diámetros aparentes de estos cúmulos según la escala que presenta el programa, estos valores oscilan entre los diámetros hidrodinámicos obtenidos del ensayo de asentamiento.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

1. El modelo de diámetro hidrodinámico basado en la ley de Stokes fue aplicable para el ensayo de asentamiento visual permitiendo obtener diámetros hidrodinámicos representativos.
2. A mayor tiempo de asentamiento para la arcilla es mejor la compatibilidad de la misma con el medio líquido en el que se suspende.
3. Los desplazamientos de la arcilla fueron directamente proporcional a los tiempos de asentamiento obtenidos para este primer ensayo guardando una tendencia lineal creciente para cada solución con que se mezcló.

4. La variación de las áreas de picos de absorbancia infrarroja mostraron una relación paralela lineal creciente con el asentamiento visual de la arcilla, ambas versus tiempo a excepción de los aceites mineral y de silicón.
5. La mejor compatibilidad en cuanto a tiempo y velocidad de asentamiento se obtuvo con la EDR-176, mientras que en diámetros hidrodinámicos los menores obtenidos fueron con la TETA y D-230 respectivamente.
6. Los picos de absorbancias de rayos x permitió determinar el espaciamiento interlaminar de manera cuantitativa, como medida del grado de asociación alcanzado al mezclar las organoarcillas e inhibidor de corrosión, con las aminas y resinas.
7. Las mayores amplitudes de absorbancia de rayos x obtenidas al realizar las mezclas de arcillas con resinas y aminas con un 20% en masa correspondió a la cloisite 20A.
8. Se obtuvieron difracciones d_{001} y d_{002} con la nanoarcilla C30B al ser mezcladas con las aminas EDR-176 y TEPA, esta misma arcilla generó difracciones d_{001} y d_{002} con las resinas GE-40, GE-60 y EPON-828.

9. Se obtuvieron difracciones d_{001} y d_{002} con la C93A al ser mezcladas con las resinas epóxicas GE-60 y EPON-828, estos picos se ubicaron justo al doble del ángulo de difracción con la mitad de amplitud del primer pico.
10. Se obtuvieron picos de absorbancias d_{001} , d_{002} y d_{003} con las arcillas cloisite 93A y 30B al ser mezcladas con la resina EPON-828, lo que indicó un arreglo intercalado en la mezcla de la arcilla.
11. La mayor amplitud de absorbancia de rayos x se obtuvo con la C20A y D-230 mientras que con esta misma arcilla añadida al grupo de resinas la mayor amplitud se obtuvo con la GE-60.
12. La cloisite 93A presentó las mayores absorbancias de rayos x al mezclarse con la amina T-403 mientras que para el grupo de resinas se obtuvieron con la GE-60.
13. El inhibidor RM210 presentó un efecto de aplastamiento al mezclarse con la C93A, aminas y resinas, a excepción de la amplitud obtenida con la D-230 y C93A, con un aumento del 2% que indicó que favoreció el espaciamiento de las láminas de arcilla.
14. No se obtuvieron difracciones para la mezcla de inhibidor con la TEPA para las aminas, la GE-60 y GE-38 para las resinas junto con

la cloisite 93A, lo que indicó que la mezcla se exfolió o simplemente se asentaron ambos polvos.

15. Se obtuvieron las difracciones d_{001} y d_{002} para la mezcla entre la resina EPON-828, la cloisite 93A y el inhibidor de corrosión, lo que indica una merma en las absorbancias obtenidas al no añadirse el inhibidor.
16. El inhibidor RM210 al mezclarse con la resina GE-60 aumentó la concentración de amina primaria disponible y mermar ligeramente la concentración de epóxico, al aumentar el porcentaje de inhibidor mayor fue la concentración de amina primaria.
17. Los mayores valores de concentración de AT, conversión de AP y EP fue para la GE-60 con EDR-148, seguida de EDR-176, D-230, T-403, TEPA y TETA, todos estos sistemas fueron curados durante 168 horas a temperatura ambiente sin arcilla.
18. El efecto de la arcilla C93A al ser añadido a los sistemas de GE-60 con D-230 y T-403 fue de merma para la concentración de AP, AT, tiempo de conversión del 99% de AP y porcentaje de conversión de epóxico al final del ensayo.
19. El efecto del inhibidor RM-210 con la C93A al añadirse a los sistemas formados de GE-60 con D-230 y T-403, fue de aumentar la

concentración de AT y bajar la concentración de AP, sin variar notablemente el porcentaje de conversión de AP y EP.

20. El mayor pico de absorbancia de rayos x obtenido de los discos con C93A fue para la GE-60+EDR-176, dando ángulos de difracción y amplitudes similares en ambas caras del disco mientras que para la GE-60+TEPA+C93A no se obtuvo pico en la superficie del disco, en el fondo si se obtuvo lo que indicó que la arcilla se asentó en este sistema durante el curado.
21. La C93A presente en las probetas curadas produjo un efecto de rigidez en su mayoría, a excepción del sistema GE-60+TEPA, esta provocó una mejora en todas sus propiedades mecánicas medidas en este ensayo.
22. Las probetas del sistema GE-60+EDR-176 con una magnificación de 450x permitió observar las líneas de propagación de fracturas, impurezas y relieves característicos de una falla dúctil mientras que la magnificación de 2340x permitió ubicar las microfallas iniciadoras de líneas de falla en la matriz observada.
23. Las probetas del sistema GE-60+EDR-176 reforzadas con C93A con una magnificación de 450x permitió observar los cúmulos de arcilla dispersos uniformemente en la matriz observada mientras que el

aumento de 2340x permitió identificar las partículas de arcilla distribuidas junto con las líneas de propagación de falla emergentes radialmente a estas, dichas partículas presentaron diámetros aparentes entre 11 y 33 micras.

Recomendaciones.

1. Se pueden minimizar los tiempos de transición entre sintetizar y caracterizar las muestras para todos los ensayos con ubicar los equipos en una mismas área, así se lograría monitorear las primeras interacciones de estos nanocompuestos.
2. Realizar el purgado completo del espectrómetro con nitrógeno antes de realizar un nuevo ensayo cuando este haya estado sin operar después de un tiempo y cambiar los desecantes si ya cumplieron su vida útil.
3. Asegurarse que el background o figura base que se realice no presente ruido en su espectro para que las espectrometrías posteriores resulten adecuadas sin ruido debido a la humedad.
4. Mantener un sitio de posicionamiento señalado tanto para el recipiente empleado como base y los portamuestras tipo sanduche empleados en el ensayo de curado, de esta manera se mantendrá un mismo punto por donde pasará el haz infrarrojo.
5. Prevenir que rayos solares que se filtran al laboratorio por los ventanales incidan en el portamuestra cuando se está monitoreando

el asentamiento de las arcillas tanto en el tubo de ensayo como en el portamuestra del FTIR.

6. Implementar un UPS de mayor capacidad para extender la autonomía tanto de la PC como del equipo de espectrometría infrarroja FTIR, para evitar pérdida de información al momento de algún ensayo.
7. Aumentar una unidad adicional deshumidificadora de aire para poder controlar y mantener humedades relativas bajas del 50% en temporadas con humedad externa alta.
8. Colocar la cantidad en volumen adecuada de muestra para el portamuestra cilíndrico del XRD, de esta manera se evitará que se forme una superficie convexa en el líquido, lo que influirá en los picos de absorbancia obtenidos al final del ensayo.
9. Evitar manipular los discos curados por sus caras, cuyas superficies deben estar sin impurezas al momento de realizarse la difracción de esta manera las figuras obtenidas no presentaran distorsiones.
10. En caso de recalentamiento por temperatura alta en el tubo emisor de cobre apagar el generador de tensión eléctrica y dejar el sistema de refrigeración funcionando unos 20 minutos hasta que la

temperatura baje hasta 18 grados centígrados cuando la operación del XRD ha sido continua.

11. Para obtener datos representativos de los ensayos de tensión mecánica realizado a las probetas curadas se deben sujetar de forma alineada al eje imaginario de los mandriles de sujeción.
12. Para asegurarse que la superficie corrugada de los mandriles de sujeción actúen desde las líneas que delimitan la longitud inicial que debe tener la probeta al iniciar cada ensayo se debe realizar una segunda marca a 5mm de la primera hacia el centro de la probeta, debido a los bordes chaflanados de estos útiles de agarre.
13. Se debe sujetar directamente la probeta con los mandriles de sujeción de esta forma se evitara posibles deslizamientos entre los mandriles y la probeta, sin ejercer mucha compresión para evitar roturas antes de empezar el ensayo.
14. Se debe emplear una cuchilla aserrada para realizar el corte de las probetas para el ensayo de microscopia debido a que estas probetas resultan ser frágiles en su estructura.
15. Mantener las probetas ya cortadas para el ensayo de microscopia en un envase hermético con desecante para extraer toda la humedad presente durante 24 horas, es importante para obtener un buen

recubrimiento metálico el mismo que influirá en la calidad de las figuras obtenidas por el microscopio de barrido electrónico.

16. Evitar arrimarse o golpear los equipos de caracterización más aun cuando se está caracterizando alguna muestra, de esta forma se evita que la maquina registre estas perturbaciones durante el ensayo.
17. Realizar la correcta limpieza con acetona de todos los portamuestras de cada equipo de caracterización mencionado en este proyecto al finalizar un ensayo con nanocompuestos para evitar que los posibles residuos alteren física o químicamente en otra muestra a caracterizar.
18. Una vez terminado los ensayos realizar la limpieza general de cada equipo de esta manera se contribuye a mantenerlos en buen estado.
19. Es muy importante proteger las manos con guantes de látex para prevenir cualquier contacto directo de la piel con estas sustancias químicas, ya que puede provocar laceraciones si el usuario resulta ser alérgico a estos compuestos.

APÉNDICES

APÉNDICE A

CÁLCULOS PARA DIÁMETRO HIDRODINÁMICO A PARTIR DE DISTANCIA Y TIEMPO DE ASENTAMIENTO

Este ejemplo muestra los cálculos para obtener el diámetro hidrodinámico de la arcilla cloisite 93A mezclada con la amina D230:



Del diagrama de fuerzas actuando sobre la partícula esférica de arcilla junto con el concepto de velocidad terminal, se obtiene la primera ecuación, en donde:

$$0 = W_s - E_s - F_d$$

- Fuerza de arrastre para esfera de radio R: $F_d = 6\pi\mu_l V_t R$
- Peso de la esfera de radio R: $W_s = \rho_s \frac{4}{3} \pi R^3 g$
- Empuje sobre la esfera de radio R: $E_s = \rho_l \frac{4}{3} \pi R^3 g$

Reemplazando ecuaciones términos:

$$\rho_s \frac{4}{3} \pi R^3 g - \rho_l \frac{4}{3} \pi R^3 g - 6\pi\mu_l V_t R = 0$$

Agrupando términos:

$$\frac{4}{3} \pi R^3 g (\rho_s - \rho_l) = 6\pi\mu_l V_t R$$

Simplificando términos:

$$R^2 = \frac{4.5\mu_l V_t}{g(\rho_s - \rho_l)}$$

La velocidad terminal equivale a la división entre la distancia (h) y tiempo de desplazamiento (t), por lo tanto: $V_t = \frac{h}{t}$

Despejando el diámetro hidrodinámico D_h :

$$D_h = 2 * \sqrt{\frac{4.5\mu_l h}{g(\rho_s - \rho_l)t}}$$

De los datos mostrados en la tabla 1 obtenidos del ensayo de asentamiento de D230 para un intervalo de tiempo, así se tiene:

$$t = 5 \text{ min} = 300 \text{ seg}; \mu_l = 0.009006 \text{ Pa} * \text{seg}; h = 3 \text{ mm};$$

$$g = 9.8 \text{ m/seg}; \rho_s = 1.88 \text{ g/ml}; \rho_l = 0.948 \text{ g/ml};$$

$$D_h = 2 * \sqrt{\frac{4.5 * 0.009006 * 0.003}{9.8 * (1.88 - 0.948) * 1000 * 300}}$$

$$D_h = 2 * \sqrt{\frac{0.000121581}{2740080}} = 2 * \sqrt{4.4371x10^{-11}} = 2 * 6.6611x10^{-6}$$

$$D_h = 13.3223 \mu m$$

Este procedimiento se realiza para cada intervalo de tiempo y se obtiene un promedio al final para cada mezcla.

APÉNDICE B

CÁLCULOS PARA MEZCLAR RESINAS Y AMINAS CON ARCILLAS E INHIBIDOR DE CORROSIÓN

Mezcla resina con amina: GE60 + D230

$$m_{GE60} = 1.5g; AHEW_{D230} = 60 g/eq; EEW_{D230} = 177.5 g/eq$$

$$PHR_{D230} = \frac{AHEW_{D230} * 100}{EEW_{GE60}} = \frac{60 * 100}{177.5} = 33.80$$

$$m_{D230} = \frac{m_{GE60} * PHR_{D230}}{100} = \frac{1.5 * 33.80}{100} = 0.507g$$

Mezcla resina con amina y 5% de arcilla: GE60 + D230 + C93A

$$m_{GE60} = 1.5g; m_{C93A} = 0.075g$$

$$AHEW_{D230} = 60 g/eq; EEW_{D230} = 177.5 g/eq \text{ al } 100\%$$

$$\text{Para un } 105\% \rightarrow EEW_{D230} = \frac{EEW_{GE60} * 105}{100} = \frac{177.5 * 105}{100} = 186.375$$

$$PHR_{D230} = \frac{AHEW_{D230} * 100}{EEW_{GE60}} = \frac{60 * 100}{186.375} = 32.1932$$

$$m_{D230} = \frac{m_{GE60} * PHR_{D230}}{100} = \frac{1.5 * 32.1932}{100} = 0.4829g$$

Mezcla resina, amina, 5% de arcilla y 1% de inhibidor:

GE60 + D230 + C93A + RM210

$$m_{GE60} = 1.5g; m_{C93A} = 0.075g; m_{RM210} = 0.015g$$

$$AHEW_{D230} = 60 g/eq; EEW_{D230} = 177.5 g/eq \text{ al } 100\%$$

$$\text{Para un } 106\% \rightarrow EEW_{D230} = \frac{EEW_{GE60} * 106}{100} = \frac{177.5 * 106}{100} = 188.15$$

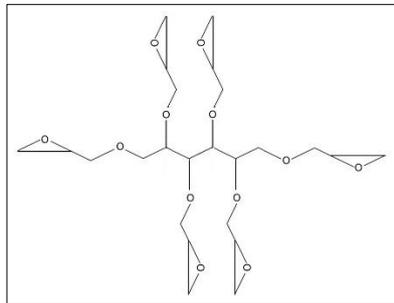
$$PHR_{D230} = \frac{AHEW_{D230} * 100}{EEW_{GE60}} = \frac{60 * 100}{188.15} = 31.8894$$

$$m_{D230} = \frac{m_{GE60} * PHR_{D230}}{100} = \frac{1.5 * 31.8894}{100} = 0.4783g$$

APÉNDICE C

CÁLCULOS PARA CONCENTRACIÓN DE AMINA PRIMARIA, SECUNDARIA, Terciaria Y EPÓXICO

Se obtienen los pesos moleculares de amina y resina: GE60 + D230



$$fb_R = 1$$

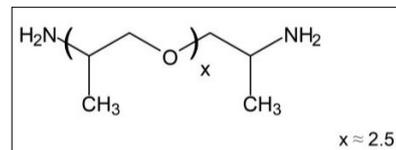
$$EEW_R = 177.5 \text{ g/eq}$$

$$\#molEP = 6$$

$$MW_{res} = fb_R * EEW * \#mol$$

$$MW_{res} = 1 * 177.5 * 6$$

$$MW_{res} = 1065 \text{ g/mol}$$



$$fb_A = 1.5$$

$$EEW_R = 60 \text{ g/eq}$$

$$\#molH = 4$$

$$MW_{ami} = fb_A * AHEW * \#mol$$

$$MW_{ami} = 1.5 * 60 * 4$$

$$MW_{ami} = 360 \text{ g/mol}$$

Al mezclarse la amina con resinas se suman los pesos moleculares.

$$MW_{ami+res} = MW_{ami} + MW_{res} = 1065 + 360 = 1425 \text{ g/mol}$$

Las concentraciones de amina primaria y epóxico inicial de la mezcla son:

$$[AP]_0 = \left(\frac{fb}{MW_{ami+res}} \right) * \#mol = \left(\frac{1.5}{1425/1000} \right) * 2 = 2.1053 \text{ mol/Kg}$$

$$[EP]_0 = \left(\frac{fb}{MW_{ami+res}} \right) * \#mol = \left(\frac{1}{1425/1000} \right) * 6 = 4.2105 \text{ mol/Kg}$$

Aplicando la Ley de Beer Lambert: $A = \log I_0/I = \varepsilon * C * L$

Reemplazado términos para amina primaria: $[AP]_n = A_n/\varepsilon_A * L_n$

Reemplazando términos para epóxico: $[EP]_n = A_n/\varepsilon_E * L_n$

Donde A_n es el área del pico de absorbancia obtenido en un intervalo de tiempo, consultando la tabla 11 para la D230 se tiene.

$$\text{Para amina primaria} \rightarrow A_0 = 12.362; [AP]_0 = 2.1053 \text{ mol/Kg}$$

$$\text{Para epóxico} \rightarrow A_0 = 14.671; [EP]_0 = 4.2105 \text{ mol/Kg}$$

Donde las absorptividades son.

$$\varepsilon_A = \frac{A_0}{([AP]_0 * L_0)} = \frac{12.362}{(2.1053 * 0.1116)} = 52.61 \frac{\text{Kg}}{\text{mol*cm}} \quad \varepsilon_E =$$

$$\frac{A_0}{([EP]_0 * L_0)} = \frac{14.671}{(4.2105 * 0.1116)} = 31.22 \frac{\text{Kg}}{\text{mol*cm}}$$

El espesor inicial $L_0 = 0.1116\text{cm}$, el espesor en $t = 1.5\text{ hr}$, el área del pico a 6000cm^{-1} en este intervalo es de $A_{1.5} = 0.107$ con un área inicial de $A_0 = 0.112$, así se tiene:

$$L_{1.5} = (L_0 * A_n) / A_0 = (0.1116 * 0.107) / 0.112 = 0.1066\text{ cm}$$

Las concentraciones de epóxico y amina primaria a $t = 1.5\text{ hr}$, el área del pico a 4935cm^{-1} correspondiente a la amina primaria en este intervalo es $A_{1.5} = 10.984$, el área de pico a 4525cm^{-1} para el epóxico es $A_{1.5} = 13.067$, así se tiene:

$$[AP]_{1.5} = A_{1.5} / \varepsilon_A * L_{1.5} = 10.984 / (52.61 * 0.1066) = 1.9585\text{ mol/Kg}$$

$$[EP]_{1.5} = A_{1.5} / \varepsilon_E * L_{1.5} = 13.067 / (31.22 * 0.1066) = 3.9263\text{ mol/Kg}$$

Para las concentraciones de aminas secundarias y terciarias en el mismo intervalo se tiene.

$$[AS]_{1.5} = 2([AP]_0 - [AP]_{1.5}) - ([EP]_0 - [EP]_{1.5})$$

$$[AS]_{1.5} = 2(2.1053 - 1.9585) - (4.2105 - 3.9263)$$

$$[AS]_{1.5} = 0.0094\text{ mol/Kg}$$

$$[AT]_{1.5} = [AP]_0 - [AP]_{1.5} - [AS]_{1.5}$$

$$[AT]_{1.5} = 2.1053 - 1.9585 - 0.0094$$

$$[AT]_{1.5} = 0.1374\text{ mol/Kg}$$

Para la conversión de epóxico y amina primaria en el mismo intervalo se tiene.

$$\alpha[AP] = 1 - \frac{[AP]_{1.5}}{[AP]_0} = 1 - \frac{1.9585}{2.1053} = 0.068$$

$$\alpha[EP] = 1 - \frac{[EP]_{1.5}}{[EP]_0} = 1 - \frac{3.9263}{4.2105} = 0.067$$

Así se realizan los cálculos para cada intervalo hasta finalizar.

APÉNDICE D

HOJA TÉCNICA DE ARCILLA CLOISITE 20A

BYK Cloisite® 20A Nanoclay

Categories: [Other Engineering Material, Additive/Filler for Polymer, Polymer](#)

Material Notes: Cloisite® 20A is an additive for plastics to improve various plastic physical properties, such as reinforcement, HDT, CLTE and barrier.

Information provided by Southern Clay Products

Southern Clay Products is now a part of BYK Additives.

Key Words: Quaternary ammonium salt modified natural montmorillonite polymer additive.

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.77 g/cc	1.77 g/cc	
Bulk Density	0.118 g/cc	0.00425 lb/in ³	Loose
	0.2171 g/cc	0.007841 lb/in ³	Packed
Loss On Ignition	38 %	38 %	
Particle Size	<= 2.0 µm	<= 2.0 µm	10%
	<= 6.0 µm	<= 6.0 µm	50%
	<= 13 µm	<= 13 µm	90%
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Shore D	83	83	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Tensile Strength, Ultimate	101 MPa	14600 psi	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Elongation at Break	8.0 %	8.0 %	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Modulus of Elasticity	4.657 GPa	675.5 ksi	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Flexural Modulus	3.78 GPa	548 ksi	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Izod Impact, Notched	0.270 J/cm	0.506 ft-lb/in	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	96.0 °C	205 °F	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Processing Properties	Metric	English	Comments
Moisture Content	<= 2.0 %	<= 2.0 %	
Descriptive Properties			
Modifier Concentration, meq/ 100g clay		95	
Organic Modifier	dimethyl, dihydrogenated tallow, quaternary ammonium		
X-Ray Diffraction d-Spacing (001)		31.5 Angstroms	

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

APÉNDICE E

HOJA TÉCNICA DE ARCILLA CLOISITE 93A

BYK Cloisite® 93A Nanoclay

Categories: [Other Engineering Material](#), [Additive/Filler for Polymer](#), [Polymer](#)

Material Notes: Cloisite® 93A is an additive for plastics to improve various plastic physical properties, such as reinforcement, HDT, CLTE and barrier.

Information provided by Southern Clay Products

Southern Clay Products is now a part of BYK Additives.

Key Words: Ternary ammonium salt modified natural montmorillonite polymer additive.

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.88 g/cc	1.88 g/cc	
Bulk Density	0.1692 g/cc	0.005111 lb/in ³	Loose
	0.2888 g/cc	0.01043 lb/in ³	Packed
Loss On Ignition	40 %	40 %	
Particle Size	<= 2.0 µm	<= 2.0 µm	10%
	<= 6.0 µm	<= 6.0 µm	50%
	<= 13 µm	<= 13 µm	90%
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Shore D	83	83	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Tensile Strength, Ultimate	101 MPa	14600 psi	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Elongation at Break	8.0 %	8.0 %	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Modulus of Elasticity	4.657 GPa	675.5 ksi	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Flexural Modulus	3.78 GPa	548 ksi	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Izod Impact, Notched	0.270 J/cm	0.506 ft-lb/in	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	96.0 °C	205 °F	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Processing Properties	Metric	English	Comments
Moisture Content	<= 2.0 %	<= 2.0 %	
Descriptive Properties			
Modifier Concentration, meq/ 100g clay		90	
Organic Modifier	methyl, dihydrogenated tallow ammonium		
X-Ray Diffraction d-Spacing (001)		23.6 Angstroms	

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

APÉNDICE F

HOJA TÉCNICA DE ARCILLA CLOISITE 30B

BYK Cloisite® 30B Nanoclay

Categories: [Other Engineering Material, Additive/Filler for Polymer, Polymer](#)

Material Notes: Cloisite® 30B is an additive for plastics to improve various plastic physical properties, such as reinforcement, HDT, CLTE and barrier.

Information provided by Southern Clay Products

Southern Clay Products is now a part of BYK Additives.

Key Words: Quaternary ammonium salt modified natural montmorillonite polymer additive.

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.98 g/cc	1.98 g/cc	
Bulk Density	0.2283 g/cc	0.008246 lb/in ³	Loose
	0.3638 g/cc	0.01314 lb/in ³	Packed
Loss On Ignition	30 %	30 %	
Particle Size	<= 2.0 µm	<= 2.0 µm	10%
	<= 6.0 µm	<= 6.0 µm	50%
	<= 13 µm	<= 13 µm	90%

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Shore D	83	83	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Tensile Strength, Ultimate	101 MPa	14600 psi	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Elongation at Break	8.0 %	8.0 %	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Modulus of Elasticity	4.657 GPa	675.5 ksi	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Flexural Modulus	3.78 GPa	548 ksi	5% Cloisite® reinforced Nylon 6
Izod Impact, Notched	0.270 J/cm	0.506 ft-lb/in	5% Cloisite® reinforced Nylon 6

Thermal Properties	Metric	English	Comments
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	96.0 °C	205 °F	5% Cloisite® reinforced Nylon 6

Processing Properties	Metric	English	Comments
Moisture Content	<= 2.0 %	<= 2.0 %	

Descriptive Properties

Modifier Concentration, meq/ 100g clay	90
Organic Modifier	methyl, tallow, bis-2-hydroxyethyl, quaternary ammonium
X-Ray Diffraction d-Spacing (001)	18.5 Angstroms

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

APÉNDICE G

HOJA TÉCNICA DE AMINA EDR148

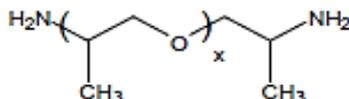
HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

Technical Bulletin

JEFFAMINE[®] D-230 Polyetheramine

JEFFAMINE D-230 polyetheramine is characterized by repeating oxypropylene units in the backbone. As shown by the representative structure, JEFFAMINE D-230 polyetheramine is a difunctional, primary amine with an average molecular weight of about 230. The primary amine groups are located on secondary carbon atoms at the end of the aliphatic polyether chain.



$x \approx 2.5$

- APPLICATIONS**
- Epoxy curing agent
 - Reacts with carboxylic acids to form hot melt adhesives
 - Reacts quickly with isocyanates
 - Salts may be formed readily for surfactant use

- BENEFITS**
- Low viscosity, color and vapor pressure
 - Completely miscible with a wide variety of solvents, including water
 - Provides tough, clear, impact resistant coatings, castings, and adhesives
 - Coatings are free of surface blush prevalent with many amine curing agents

SALES SPECIFICATIONS

Property	Specifications	Test Method*
Appearance	Colorless to light yellow with slight haze permitted	ST-30.1
Color, Pt-Co	25 max.	ST-30.12
Primary amine, % of total amine	97 min.	ST-5.34
Total acetylatables, meq/g	8.3 min. – 9.1 max.	ST-31.39
Total amine, meq/g	8.1 min. – 8.7 max.	ST-5.35
Water, wt%	0.20 max.	ST-31.53, 6

*Methods of Test are available from Huntsman Corporation upon request.

ADDITIONAL INFORMATION

Regulatory Information

DOT/IDG Classification	Amines, liquids, corrosive, N.O.S. (polyoxypropylene diamine)
HMIS Code	3-1-0
CAS Number	9046-10-0
US, TSCA	Listed
Canadian WHMIS Classification	E
Canada, DSL	Listed
European Union, EINECS/ELINCS	Polymer Exempt
Australia, AICS	Listed
Japan, ENCS	Contact Huntsman Regulatory
Korea, ECL	Listed
China, IECSC	Listed

Typical Physical Properties

AHEW (Amine hydrogen equivalent wt.), g/eq	60
Equivalent wt. with isocyanates, g/eq	120
Viscosity, cSt, 25°C (77°F)	9.5
Density, g/ml (lb/gal), 25°C	0.948 (7.90)
Flash point, PMCC, °C (°F)	121 (250)
pH, 5% aqueous solution	11.7
Refractive index, n_D^{20}	1.4486
Vapor pressure, mm Hg°C	1/100
	10/133

TOXICITY AND SAFETY

For additional information on the toxicity and safe handling of this product, consult the Material Safety Data Sheet (Safety Data Sheet in Europe) prior to use of this product.

HANDLING AND STORAGE**Materials of Construction****At temperatures of 75-100°F (34-38°C)**

Tanks	Carbon steel
Lines, valves	Carbon steel
Pumps	Carbon steel
Heat exchange Surfaces	Stainless steel
Hoses	Stainless steel, polyethylene, polypropylene, and TEFLON®
Gaskets, packing	Polypropylene or TEFLON® (elastomers such as neoprene, Buna N, and VITON® should be avoided)
Atmosphere	Nitrogen or dry air

At temperatures above 100°F (38°C)

Tanks	Stainless steel or aluminum
Lines, Valves	Stainless steel
Pumps	Stainless steel or Carpenter 20 equivalent
Atmosphere	Nitrogen

®VITON® and TEFLON® are registered trademarks of DuPont.

JEFFAMINE® D-230 polyetheramine may be stored under air at ambient temperatures for extended periods. A nitrogen blanket is suggested for all storage, however, to reduce the effect of accidental exposure to high temperatures and to reduce the absorption of atmospheric moisture and carbon dioxide. It should be noted that pronounced discoloration is likely to occur at temperatures above 140°F (60°C), whatever the gaseous pad.

Cleanout of lines and equipment containing JEFFAMINE D-230 polyetheramine can be accomplished using warm water and steam. In the event of spillage of this product, the area may be flushed with water. The proper method for disposal of waste material is by incineration with strict observance of all federal, state, and local regulations.

AVAILABILITY

JEFFAMINE D-230 polyetheramine is available in tank cars, tank wagons, 55-gallon (208L) drums of 430 pounds (195kg) net weight, and 5-gallon (19L) cans. Samples are available in North America and Asia by contacting our sample department at 1-800-662-0924. Samples in other locations, including Europe, are available by contacting any Huntsman Corporation sales office.

Copyright © 2007, 2008 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.

JEFFAMINE® is a registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof in one or more, but not all countries.

Huntsman Petrochemical Corporation warrants only that its products meet the specifications stated in the sales contract. Typical properties, where stated, are to be considered as representative of our net production and should not be treated as specifications. While all the information presented in this document is believed to be reliable and to represent the best available data on these products, NO GUARANTEE, WARRANTY, OR REPRESENTATION IS MADE, INTENDED OR IMPLIED AS TO THE CORRECTNESS OR SUFFICIENCY OF ANY INFORMATION OR AS TO THE MERCHANTABILITY OR SUITABILITY OR FITNESS OF ANY CHEMICAL COMPOUNDS FOR ANY PARTICULAR USE OR PURPOSE, OR THAT ANY CHEMICAL COMPOUND OR USE THEREOF ARE NOT SUBJECT TO A CLAIM BY A THIRD PARTY FOR INFRINGEMENT OF ANY PATENT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT. EACH USER SHOULD CONDUCT A SUFFICIENT INVESTIGATION TO ESTABLISH THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR ITS INTENDED USE. Liability of Huntsman Petrochemical Corporation and its affiliates for all claims is limited to the purchase price of the material. Products may be toxic and require special precautions in handling. For all products listed, user should obtain detailed information on toxicity, together with proper shipping, handling and storage procedures, and comply with all applicable safety and environmental standards.

Main Office US: Huntsman Corporation / 10000 Woodloch Forest Drive / The Woodlands, Texas 77380 / 281-719-8000
Technical Service US: 8000 Shading Road / The Woodlands, Texas 77381 / 281-719-7790

Main Office Europe: Huntsman Belgium NV/SA / Boulevard 42 / 8-3078 Everbeek, Belgium / 32-2-758-6211
Technical Service Europe: Technical Services Representatives / Freeburg Office / 32-2-758-6200

Main Office Asia Pacific: Huntsman Singapore PTE / 130 Beach Road #07-00 Gateway West / Singapore 189720 / 65-6287-2380
Technical Service Asia Pacific: Huntsman Performance Products / 81 Market Road, Rocklyn, Victoria / Australia 3012 / 61-3-9200-8999

www.huntsman.com

APÉNDICE H

HOJA TÉCNICA DE AMINA EDR176



Technical Bulletin

JEFFAMINE® EDR-176 Polyetheramine

JEFFAMINE EDR-176 polyetheramine is a relatively low molecular weight, reactive polyether diamine. As an epoxy curing agent it provides moderately rapid cures, and cured resins with good mechanical properties and excellent impact and thermal shock resistance. It could be used in polyamides to modify hydrophilicity and improve antistatic properties, etc. This product is more reactive than most of the other polyetheramines in the JEFFAMINE polyetheramine family. For optimum performance in coatings, it is recommended that JEFFAMINE EDR-176 polyetheramine be adducted.

APPLICATIONS • Epoxy curing, polyamide preparation; other applications for reactive, high purity diamines

- BENEFITS**
- Relatively rapid cure rate, good cured resin mechanical properties in epoxy curing
 - Low viscosity, high purity
 - May add flexibility and hydrophilicity to polyamides
 - Potential partial replacement for TETA in polyamide preparation

SALES SPECIFICATIONS

<u>Property</u>	<u>Specifications</u>	<u>Test Method*</u>
Appearance	Clear and free	ST-30.1
Color, Pt-Co	50 max.	ST-30.12
Primary amine, % of total amine	99 min.	ST-5.34
Total amine, meq/g	11.0 min.	ST-5.35
Water, wt%	0.30 max.	ST-31.53, 6

*Methods of Test are available from Huntsman Corporation upon request.

ADDITIONAL INFORMATION

Regulatory Information

DOT/TDG Classification	Amines, liquids, corrosive, N.O.S. (Polyoxyalkyleneamine)
HMIS Code	3-1-0
CAS Number	Proprietary
US, TSCA	Listed
Canadian WHMIS Classification	E
Canada, DSL	Not Listed
European Union, EINECS/ELINCS	Listed
Australia, AICS	Not Listed
Japan, ENCS	Contact Huntsman Regulatory
Korea, ECL	Not Listed
China, IECSC	Not Listed

Typical Physical Properties

AHEW (Amine hydrogen equivalent wt.), g/eq	44
Viscosity, cSt, 25°C (77°F)	9
Density, g/ml (lb/gal), 25°C	0.980 (8.17)
Flash point, PMCC, °C (°F)	105 (221)
pH	12.2
Vapor pressure, mm Hg ^o C	1/95
	10/140

JEFFAMINE[®] EDR-176 polyetheramine as Epoxy Curing Agent

Liquid epoxy resin ¹	100	100	100	100	100	100
JEFFAMINE EDR-176 amine	24					
JEFFAMINE EDR-148 amine		20				
DEGBPA			29			
JEFFAMINE D-230 amine				32		
IPDA					24	
PACM						28
Brookfield vsc., cP (23°C)	670	700	550	600	2200	4630
Gel time, min (200 g mass)	70	75	70	280*	180	290
Peak exotherm temp., °C	231	215	230	65	180	135
Glass transition temp., °C	84	95	69	90	157	155
Room temperature cure, 7 days						
Tensile strength, psi ~ 0.001 (MPa)	8.9 (61.4)	9.8 (67.6)	8.4 (57.5)	7.6 (52.4)	n/a	n/a
Ultimate elongation, %	4	4	4	2	n/a	n/a
Flexural strength, psi ~ 0.001 (MPa)	15.0 (103.4)	16.1 (111.0)	13.1 (90.3)	10.8 (74.5)	n/a	n/a
Flexural modulus, psi ~ 0.001 (MPa)	440 (3034)	490 (3378)	423 (2915)	477 (3289)	n/a	n/a
HDT, 264 psi (1.8 MPa) load, °C	49	44	49	46	n/a	n/a
Elevated temperature cure²						
Tensile strength, psi ~ 0.001 (MPa)	8.0 (55.2)	8.6 (59.3)	7.6 (52.4)	9.5 (65.5)	10.6 (73.1)	9.6 (66.2)
Ultimate elongation, %	12	10	9.5	11	3.7	4.7
Flexural strength, psi ~ 0.001 (MPa)	13.7 (94.4)	14.3 (98.6)	12.0 (82.7)	17.8 (122.7)	19.7 (135.6)	14.9 (102.7)
Flexural modulus, psi ~ 0.001 (MPa)	360 (2482)	350 (2413)	345 (2385)	405 (2792)	420 (2895)	347 (2392)
HDT, 264 psi (1.8 MPa) load, °C	68	86	57	80	134	n/a

In this table, EDR-176 is compared with other polyether amines. DEGBPA is the bis(aminopropyl ether) of diethylene glycol, which is commercially available from several sources. EDR-148 is triethylene glycol diamine and D-230 is the 230 MW polypropylene glycol diamine, both from Huntsman. It is also compared with two cycloaliphatic amines, IPDA (isophorone diamine) and PACM [(4,4'-bis(aminocyclohexyl)methane)].

The EDR-176 (24 phr) should be mixed thoroughly with the resin. Curing at elevated temperature is necessary to give the best properties. Good properties can be obtained, however, with cures at lower temperatures or room temperature.

The cycloaliphatic curing agents IPDA and PACM give brittle properties with room temperature cures and properties could not be obtained.

¹General purpose epoxy resin, EEW 185-192 11,000-15,000 cP (mPa.s)

²Time (min) to 10,000cP

* Cured 2 hr 80°C, 2 hr 125°C

TOXICITY AND SAFETY

For additional information on the toxicity and safe handling of this product, consult the Material Safety Data Sheet (Safety Data Sheet in Europe) prior to use of this product.

HANDLING AND STORAGE

Materials of Construction

At temperatures of 75-100°F (34-38°C)

Tanks	Carbon steel
Lines, valves	Carbon steel
Pumps	Carbon steel
Heat exchange Surfaces	Stainless steel
Hoses	Stainless steel, polyethylene, polypropylene, and TEFLON [®]
Gaskets, packing	Polypropylene or TEFLON [®] (elastomers such as neoprene, Buna N, and VITON [®] should be avoided)
Atmosphere	Nitrogen or dry air

At temperatures above 100°F (38°C)

Tanks	Stainless steel or aluminum
Lines, Valves	Stainless steel
Pumps	Stainless steel or Carpenter 20 equivalent
Atmosphere	Nitrogen

[®]VITON[®] and TEFLON[®] are registered trademarks of DuPont.

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

JEFFAMINE[®] EDR-176 polyetheramine may be stored under air at ambient temperatures for extended periods. A nitrogen blanket is suggested for all storage, however, to reduce the effect of accidental exposure to high temperatures and to reduce the absorption of atmospheric moisture and carbon dioxide. It should be noted that pronounced discoloration is likely to occur at temperatures above 140°F (60°C), whatever the gaseous pad.

Cleanout of lines and equipment containing JEFFAMINE EDR-176 polyetheramine can be accomplished using warm water and steam. In the event of spillage of this product, the area may be flushed with water. The proper method for disposal of waste material is by incineration with strict observance of all federal, state, and local regulations.

AVAILABILITY

JEFFAMINE EDR-176 polyetheramine is available in tank cars, tank wagons, 55-gallon (208L) drums of 460 pounds (210kg) net weight, and 5-gallon (19L) cans. Samples are available in North America and Asia by contacting our sample department at 1-800-862-0924. Samples in other locations, including Europe, are available by contacting any Huntsman Corporation sales office.

Copyright © 2007, 2000 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.
JEFFAMINE[®] is a registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof in one or more, but not all countries.

2289-0288

Huntsman Performance Chemical Corporation warrants only that its products meet the specifications stated in the sales contract. Typical properties, when listed, are to be considered as representative of current production and should not be treated as specifications. While all the information presented in this document is believed to be reliable and to represent the best available data on these products, NO WARRANTY, GUARANTEE, OR REPRESENTATION IS MADE, INTENDED OR IMPLIED, AS TO THE CORRECTNESS OR ACCURACY OF ANY INFORMATION, OR AS TO THE MERCHANTABILITY OR FITNESS OF ANY CHEMICAL COMPOUNDS FOR ANY PARTICULAR USE OR PURPOSE, OR THAT ANY CHEMICAL COMPOUNDS OR USE THEREOF ARE NOT SUBJECT TO A CLAIM BY A THIRD PARTY FOR INFRINGEMENT OF ANY PATENT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT. EACH USER SHOULD CONDUCT A SUFFICIENT INVESTIGATION TO ESTABLISH THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR ITS INTENDED USE. Liability of Huntsman Performance Chemical Corporation and its affiliates for all claims is limited to the purchase price of the material. Products may be toxic and require special precautions in handling. For all products listed, user should obtain detailed information on toxicity, together with proper mixing, handling and storage procedures, and comply with all applicable safety and environmental standards.

Main Office US: Huntsman Corporation | 10000 Houston Road Drive | The Woodlands, Texas 77380 | 281-714-6000
Technical Service US: 800 Sealing Road | The Woodlands, Texas 77380 | 281-714-7782

Main Office Europe: Huntsman Belgium B.V.B.I. | Buisson 45 | B-2076 Dierberg, Belgium | 32-2-759-4011
Technical Service Europe: Technical Services Representative | E-mail: Office | 32-2-75-4000

Main Office Asia Pacific: Huntsman Singapore PTE. | 100 Seleg Road 057-00 Seaway Place | Singapore 148730 | 65 6287 8860
Technical Service Asia Pacific: Huntsman Performance Products | 4th Market Road, Brooklyn, Victoria | Australia 3013 | 61 3 9600 9999

www.huntsman.com

APÉNDICE I

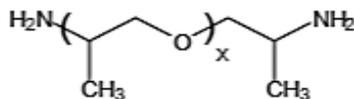
HOJA TÉCNICA DE AMINA D230



Technical Bulletin

JEFFAMINE® D-230 Polyetheramine

JEFFAMINE D-230 polyetheramine is characterized by repeating oxypropylene units in the backbone. As shown by the representative structure, JEFFAMINE D-230 polyetheramine is a difunctional, primary amine with an average molecular weight of about 230. The primary amine groups are located on secondary carbon atoms at the end of the aliphatic polyether chain.



$x \approx 2.5$

- APPLICATIONS**
- Epoxy curing agent
 - Reacts with carboxylic acids to form hot melt adhesives
 - Reacts quickly with isocyanates
 - Salts may be formed readily for surfactant use

- BENEFITS**
- Low viscosity, color and vapor pressure
 - Completely miscible with a wide variety of solvents, including water
 - Provides tough, clear, impact resistant coatings, castings, and adhesives
 - Coatings are free of surface blush prevalent with many amine curing agents

SALES SPECIFICATIONS

Property	Specifications	Test Method*
Appearance	Colorless to pale yellow liquid with slight haze permitted	ST-30.1
Color, Pt-Co	25 max.	ST-30.12
Primary amine, % of total amine	97 min.	ST-5.34
Total acetylatables, meq/g	8.3 – 9.1	ST-31.39
Total amine, meq/g	8.1 – 8.7	ST-5.35
Total amine, % acetylatables	94.0 min.	Calculated
Water, wt%	0.20 max.	ST-31.53, 6

*Methods of Test are available from Huntsman Corporation upon request.

ADDITIONAL INFORMATION

Regulatory Information

DOT/TDG Classification	Amines, liquids, corrosive, N.O.S. (polyoxypropylenediamine)
HMIS Code	3-1-0
CAS Number	9048-10-0
US, TSCA	Listed
Canadian WHMIS Classification	E
Canada, DSL	Listed
European Union, EINECS/ELINCS	Polymer Exempt
Australia, AICS	Listed
Japan, ENCS	Contact Huntsman Regulatory
Korea, ECL	Listed
China, IECSC	Listed

Typical Properties

AHEW (Amine hydrogen equivalent wt.), g/eq	60
Equivalent wt. with isocyanates, g/eq	120
Viscosity, cSt, 25°C (77°F)	9.5
Density, g/ml (lb/gal), 25°C	0.948 (7.90)
Flash point, PMCC, °C (°F)	121 (250)
pH, 5% aqueous solution	11.7
Refractive index, n_D^{25}	1.4466
Vapor pressure, mm Hg/°C	1/100
	10/133

TOXICITY AND SAFETY

For additional information on the toxicity and safe handling of this product, consult the Material Safety Data Sheet (Safety Data Sheet in Europe) prior to use of this product.

HANDLING AND STORAGE**Materials of Construction****At temperatures of 75-100°F (34-38°C)**

Tanks	Carbon steel
Lines, valves	Carbon steel
Pumps	Carbon steel
Heat exchange Surfaces	Stainless steel
Hoses	Stainless steel, polyethylene, polypropylene, and TEFLON [®]
Gaskets, packing	Polypropylene or TEFLON [®] (elastomers such as neoprene, Buna N, and VITON [®] should be avoided)
Atmosphere	Nitrogen or dry air

At temperatures above 100°F (38°C)

Tanks	Stainless steel or aluminum
Lines, Valves	Stainless steel
Pumps	Stainless steel or Carpenter 20 equivalent
Atmosphere	Nitrogen

VITON[®] and TEFLON[®] are registered trademarks of DuPont.

JEFFAMINE[®] D-230 polyetheramine may be stored under air at ambient temperatures for extended periods. A nitrogen blanket is suggested for all storage, however, to reduce the effect of accidental exposure to high temperatures and to reduce the absorption of atmospheric moisture and carbon dioxide. It should be noted that pronounced discoloration is likely to occur at temperatures above 140°F (60°C), whatever the gaseous pad.

Cleanout of lines and equipment containing JEFFAMINE D-230 polyetheramine can be accomplished using warm water and steam. In the event of spillage of this product, the area may be flushed with water. The proper method for disposal of waste material is by incineration with strict observance of all federal, state, and local regulations.

AVAILABILITY

JEFFAMINE D-230 polyetheramine is available in tank cars, tank wagons, 55-gallon (208L) drums of 430 pounds (195kg) net weight, and 5-gallon (19L) cans. Samples are available in North America and Asia by contacting our sample department at 1-800-662-0924. Samples in other locations, including Europe, are available by contacting any Huntsman Corporation sales office.

Copyright © 2007, 2000 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.
JEFFAMINE[®] is a registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof in one or more, but not all countries.

294-0711

Huntsman Performance Corporation warrants only that its products meet the specifications stated in the sales contract. Typical properties, where stated, are to be considered as representative of current production and should not be relied as specifications. While all the information presented in this document is believed to be reliable and to represent the best available data on these products, NO GUARANTEE, MERCHANTABILITY, OR REPRESENTATION IS MADE, EXPRESS OR IMPLIED, AS TO THE CORRECTNESS OR SUFFICIENCY OF ANY INFORMATION OR AS TO THE MERCHANTABILITY OR SUITABILITY OR FITNESS OF ANY INDIVIDUAL COMPOUND FOR ANY PARTICULAR USE OR PURPOSE, OR THAT ANY INDIVIDUAL COMPOUND OR USE THEREOF IS NOT SUBJECT TO A CLAIM BY A THIRD PARTY FOR INFRINGEMENT OF ANY PATENT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT. EACH USER SHOULD CONDUCT A SUFFICIENT INVESTIGATION TO DETERMINE THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR ITS INTENDED USE. Usage of Huntsman Performance Corporation and its affiliates for all claims is limited to the purchase price of the material. Products may be sold and require special precautions in handling. For all products listed, user should obtain detailed information on toxicity, together with proper shipping, handling and storage procedures, and comply with all applicable safety and environmental standards.

Main Office US: Huntsman Corporation / 10033 Woodloch Forest Drive / The Woodlands, Texas 77380 / 281-714-4500
Technical Service US: 3625 Sealing Road / The Woodlands, Texas 77381 / 281-714-7760

Main Office Europe: Huntsman Belgium B.V. / Buisson 42 / 2-2176 Buisson, Belgium / 32-0-774-4011
Technical Service Europe: Technical Service Representative / Buisson Office / 32-0-774-4060

Main Office Asia Pacific: Huntsman Singapore PTE / 152 Selegie Road 07-02 Seaway Place / Singapore 18720 / 65 637 3363
Technical Service Asia Pacific: Huntsman Performance Products / 91 Havelock Road, Singapore, Victoria / Australia 2012 / 61 2 9633 5666

www.huntsman.com

APÉNDICE J

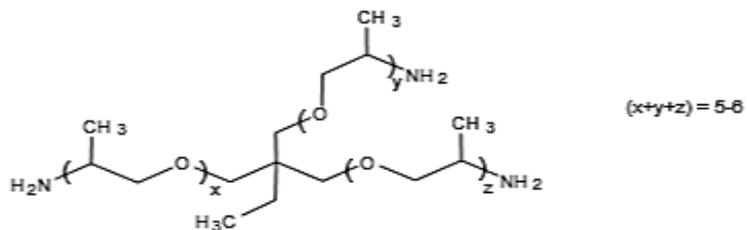
HOJA TÉCNICA DE AMINA T403



Technical Bulletin

JEFFAMINE® T-403 Polyetheramine

JEFFAMINE T-403 polyetheramine is characterized by repeating oxypropylene units in the backbone. As shown by the structure, JEFFAMINE T-403 is a trifunctional primary amine having an average molecular weight of approximately 440. Its amine groups are located on secondary carbon atoms at the ends of aliphatic polyether chains.



- APPLICATIONS**
- Epoxy curing agent
 - Anti-sag agent for polyurethanes

- BENEFITS**
- Low color and vapor pressure
 - Completely miscible with a wide variety of solvents, including water
 - Improves flexibility and strength

SALES SPECIFICATIONS

Property	Specifications	Test Method*
Appearance	Colorless to pale yellow with slight haze	ST-30.1
Color, Pt-Co	50 max.	ST-30.12
Primary amine, % of total amine	90 min.	ST-5.34
Total acetylstable, meq/g	6.5 min. – 7.1 max.	ST-31.39
Total amine, meq/g	6.1 min. – 6.6 max.	ST-5.35
Water, wt%	0.25 max.	ST-31.53, 6

*Methods of Test are available from Huntsman Corporation upon request.

ADDITIONAL INFORMATION

Regulatory Information

DOT/TDG Classification	Corrosive liquids, toxic, N.O.S. (polyoxypropylenetriamine)
HMIS Code	3-1-0
CAS Number	39423-51-3
US, TSCA	Listed
Canadian WHMIS Classification	D1B, E
Canada, DSL	Listed
European Union, EINECS/ELINCS	Polymer Exempt
Australia, AICS	Listed
Japan, ENCS	Contact Huntsman Regulatory
Korea, ECL	Listed
China, IECSC	Listed

Typical Physical Properties

AHEW (amine hydrogen equivalent wt.), g/eq	81
Viscosity, cSt, 25°C (77°F)	72
Density, g/ml (lb/gal), 25°C	0.978 (8.12)
Flesh point, PMCC, °C (°F)	196 (385)
pH, 5% aqueous solution	11.6
Refractive index, n _D ²⁰	1.46
Vapor Pressure, mmHg/°C	1/181
	5/207

TOXICITY AND SAFETY

For additional information on the toxicity and safe handling of this product, consult the Material Safety Data Sheet (Safety Data Sheet in Europe) prior to use of this product.

HANDLING AND STORAGE**Materials of Construction****At temperatures of 75-100°F (34-38°C)**

Tanks	Carbon steel
Lines, valves	Carbon steel
Pumps	Carbon steel
Heat exchange Surfaces	Stainless steel
Hoses	Stainless steel, polyethylene, polypropylene, and TEFLON [®]
Gaskets, packing	Polypropylene or TEFLON [®] (elastomers such as neoprene, Buna N, and VITON [®] should be avoided)
Atmosphere	Nitrogen or dry air

At temperatures above 100°F (38°C)

Tanks	Stainless steel or aluminum
Lines, Valves	Stainless steel
Pumps	Stainless steel or Carpenter 20 equivalent
Atmosphere	Nitrogen

JEFFAMINE[®] T-403 polyetheramine may be stored under air at ambient temperatures for extended periods. A nitrogen blanket is suggested for all storage, however, to reduce the effect of accidental exposure to high temperatures and to reduce the absorption of atmospheric moisture and carbon dioxide. It should be noted that pronounced discoloration is likely to occur at temperatures above 140°F (60°C), whatever the gaseous pad.

Cleanout of lines and equipment containing JEFFAMINE T-403 polyetheramine can be accomplished using warm water and steam. In the event of spillage of this product, the area may be flushed with water. The proper method for disposal of waste material is by incineration with strict observance of all federal, state, and local regulations.

AVAILABILITY

JEFFAMINE T-430 polyetheramine is available in tank cars, tank wagons, 55-gallon (208L) drums of 440 pounds (200kg) net weight, and 5-gallon (19L) cans. Samples are available in North America and Asia by contacting our sample department at 1-800-862-0924. Samples in other locations, including Europe, are available by contacting any Huntsman Corporation sales office.

Copyright © 2007, 2000 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.
JEFFAMINE[®] is a registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof in one or more, but not all countries.
VITON[®] and TEFLON[®] are registered trademarks of DuPont.

5209-0208

Huntsman Performance Chemicals warrants only that its products meet the specifications stated in the sales contract. Typical properties, where stated, are to be considered as representative of current production and should not be treated as exact figures. While all the information presented in this document is believed to be reliable and to represent the best available data of these values, NO ASSURANCE, WARRANTY, OR REPRESENTATION IS MADE, INTENDED OR IMPLIED, AS TO THE CORRECTNESS OR SUFFICIENCY OF ANY INFORMATION, OR AS TO THE RESPONSIBILITY OR LIABILITY OR FITNESS OF ANY CHEMICAL, COMPANIES FOR ANY PARTICULAR USE OR PURPOSE, OR THAT ANY CHEMICALS, COMPOUNDS OR USE THEREOF ARE NOT SUBJECT TO A CLAIM BY A THIRD PARTY FOR INFRINGEMENT OF ANY PATENT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT. EACH USER SHOULD CONDUCT A SUFFICIENT INVESTIGATION TO SATISFY ON THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR THE INTENDED USE. Liability of Huntsman Performance Chemicals and its affiliates for all claims is limited to the purchase price of the material. Products may be toxic and require special precautions in handling. For all products used, user should obtain detailed information on toxicity, together with proper shipping, handling and storage procedures, and comply with all applicable state, and environmental standards.

Main Office US: Huntsman Corporation / 10223 Woodloch Forest Drive / The Woodlands, Texas 77380 / USA-714-4200
Technical Service US: 8000 Sealing Road / The Woodlands, Texas 77381 / USA-714-7792

Main Office Europe: Huntsman Belgium B.V. / Bovenkerke 42 / B-4076 Biersberg, Belgium / 32-3-754-4211
Technical Service Europe: Technical Service Representatives / Biersberg Office: 32-3-754-4262

Main Office Asia Pacific: Huntsman Singapore PTE / 152 Selegie Road 057-05 Seaview / Singapore 34730 / SG 6297 3363
Technical Service Asia Pacific: Huntsman Performance Products / 61 Nankai Road, Brooklyn, Victoria / Australia 2013 / 61 3 9422 6646

www.huntsman.com

APÉNDICE K

HOJA TÉCNICA DE AMINA TETA



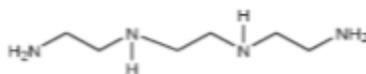
Technical Bulletin

TRIETHYLENETETRAMINE (TETA)

TRIETHYLENETETRAMINE is a mixture of four TETA ethyleneamines with close boiling points including linear, branched and two cyclic molecules.

These compounds are:

- TETA (CAS #000112-24-3, N,N'-bis (2-aminoethyl)-1,2-ethanediamine)
- Bis AEP (CAS #006531-38-0, N,N'-bis-(2-aminoethyl)piperazine)
- PEEDA (CAS #024028-46-4, N-[(2-aminoethyl)(2-aminoethyl)piperazine])
- Branched TETA (CAS #004097-88-8, tris-(2-aminoethyl)amine)



APPLICATIONS

- Asphalt additives
- Corrosion inhibitors
- Epoxy curing agents
- Hydrocarbon purification
- Lube oil and fuel additives
- Mineral processing aids
- Polyamide resins
- Surfactants
- Textile additives

SALES SPECIFICATIONS

Property	Specifications	Test Method*
Amines, mol wt < TETA, wt. %	2.0 max.	ST-35.219
Assay, TETA, wt. %	97.0 min.	ST-35.219
Color, Pt-Co	50 max.	ST-30.12
Water, wt. %	0.50 max.	ST-31.53, 6

*Methods of Test are available from Huntsman Corporation upon request.

ADDITIONAL INFORMATION

Regulatory Information			
DOT/TDG Classification	Triethylenetetramine	Heat of vaporization, BTU/lb	180.2
HMIS Code	3-1-0	Heat of combustion, BTU/lb	14297
WHMIS Classification	D1B, D2A, D2B, E	Ionization constants, K ₁	6.7E-5
		Ionization constants, K ₂ , 25°C	7.0E-6
		Kinematic viscosity, cSt, 25°C	21.4
		Kinematic viscosity, cSt, 40°C	10.3
Chemical Control Laws		Molecular weight, Linear component	146.24
Canada, DSL	Listed	Molecular weight, Typical product	151
United States, TSCA	Listed	Nitrogen content, %	37.0
		pH (1 wt. % solution)	10
Typical Physical Properties		Refractive index, n _D ²⁰	1.496
Amine value, mg KOH/g	1443	Specific gravity, 25/25°C	0.983
Boiling point, °C (°F)	260 (500)	Specific heat, cal/g °C, 20°C	0.482
Coefficient of expansion, 1/°C, 20°C	0.00075	Surface tension, dynes/cm, 20°C	22.2
Density, g/ml, 20°C	0.981	Thermal conductivity,	
Dielectric constant, 25°C and 1 kHz	11.4	cal/cm-sec-°C, 20°C	0.000450
Electrical conductivity, μmhos/cm, 24°C	0.038	Vapor pressure, mm Hg, 20°C (68°F)	<0.1
Flash point, PMCC, °C (°F)	118 (245)	Viscosity, cP, 20°C	13.9
Freezing point, °C (°F)	-35 (-31)	Water solubility (%)	>10
Heat of formation, kcal/mol	-17.6		

TOXICITY AND SAFETY

Because of the fragility of eye tissue, almost any eye contact with any ethyleneamine may cause irreparable damage, even blindness. A single, short exposure to ethyleneamines, may cause severe skin burns, while a single, prolonged exposure may result in the material being absorbed through the skin in harmful amounts. Exposures have caused allergic skin reactions in some individuals. Single dose oral toxicity of ethyleneamines is low. The oral LD₅₀ for rats is in the range of 1000 to 4500 mg/kg for the ethyleneamines.

The principal hazards that arise in working with triethylenetetramine (TETA) are those associated with similar organic amines; namely, a corrosive action on skin and eyes. Precautions should be taken to prevent contact with these parts of the body such as by use of protective clothing and chemical goggles. If contact occurs, immediately flush the exposed area with plenty of water for at least 15 minutes. Eye exposures should be examined by a physician. Contaminated clothing should be laundered before reuse. If ingestion occurs, do not induce vomiting. Have the individual drink a large amount of water (or milk, if it is readily available) and transport them to a medical facility immediately.

For additional information on the toxicity and safe handling of this product, consult the Material Safety Data Sheet (Safety Data Sheet in Europe) prior to use of this product.

HANDLING AND STORAGE

In order to maintain the high degree of purity with which triethylenetetramine (TETA) is manufactured and shipped, the following storage and handling considerations are recommended:

Dry Inert Gas Blanket

This product should be stored under a dry inert gas blanket, such as nitrogen, to minimize contamination resulting from contact with air and water.

Materials of Construction

If slight coloration of the ethyleneamine is acceptable, storage tanks may be made of carbon steel or black iron, provided they are free of rust and mill scale. However, if the amine is stored in such tanks, color may develop due to iron contamination. If iron contamination cannot be tolerated, tanks constructed of types 304 or 316 stainless steel should be used. (Note: Because they are quickly corroded by amines, do not use copper, copper alloys, brass, or bronze in tanks or lines.) Recommended storage construction for TETA is stainless steel.

Storage Temperature

Triethylenetetramine (TETA) has a pour point of -35.1°C. To avoid freezing, the product should be maintained above this temperature.

Spills or Leaks

Small spills should be covered with inorganic absorbents and disposed of properly. Organic absorbents have been known to ignite when contaminated with amines in closed containers. Certain cellulosic materials used for spill cleanup such as wood chips or sawdust have shown reactivity with ethyleneamines and should be avoided. Large spills should be contained and recovered. Water may be used for clean-up purposes, but avoid disposing of the material into sewers or natural water bodies. Disposal should be in accordance with all federal, state and local laws, regulations, and ordinances. Ethyleneamine leaks will frequently be identified by the odor (ammoniacal) or by the formation of a white, solid, waxy substance (amine carbamates). Inorganic absorbents or water may be used to clean up the amine waste.

AVAILABILITY

Triethylenetetramine (TETA) is available in bulk and in 55-gallon drums of 200 Kg net weight. Samples are available by contacting our sample department at 1-800-662-0924.

Huntsman Corporation
Business Offices
10003 Woodloch Forest Dr.
The Woodlands, TX, 77380
(281) 719-6000

Huntsman Advanced Technology
Center
Technical Service
8600 Gosling Rd.
The Woodlands, TX, 77381
(281) 719-7780

Samples 1-800-662-0924

www.huntsman.com

5003-0926

Copyright © 2007, 2008 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.

Huntsman Corporation warrants only that its products meet the specifications stated herein. Typical properties, where stated, are to be considered as representative of current production and should not be treated as specifications. While all the information presented in this document is believed to be reliable and to represent the best available data on these products, HUNTSMAN MAKES NO WARRANTY OR GUARANTEE OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, NON-INFRINGEMENT OF ANY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS OF ANY THIRD PARTY, OR WARRANTIES AS TO QUALITY OR CORRESPONDENCE WITH OTHER DESCRIPTION OR SAMPLE, AND ANY USER OF PRODUCTS DESCRIBED HEREIN SHOULD CONDUCT A SUFFICIENT INVESTIGATION TO ESTABLISH THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR HIS INTENDED USE AND ASSUMES ALL RISK AND LIABILITY WHATSOEVER RESULTING FROM THE USE OF SUCH PRODUCT, WHETHER USED singly OR IN COMBINATION WITH OTHER SUBSTANCES. Product(s) described in this publication may be hazardous and/or toxic and require special precautions in handling. For all product(s) described herein, the user should obtain from Huntsman detailed information on hazards and/or toxicity, together with proper shipping, handling, and storage procedures, and should comply with all applicable safety and environmental standards. The behavior, hazards and/or toxicity of the product(s) referred to in this publication in manufacturing processes and their suitability in any given end-use environment are dependent upon various conditions such as chemical compatibility, temperature, and other variables, which may not be known to Huntsman. It is the sole responsibility of the user of such product(s) to evaluate the manufacturing circumstances and the final product(s) under actual end-use requirements and to adequately advise and warn future purchasers and users thereof.

APÉNDICE L

HOJA TÉCNICA DE AMINA TEPA



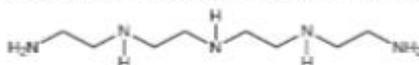
Technical Bulletin

TETRAETHYLENEPENTAMINE (TEPA)

TETRAETHYLENEPENTAMINE (TEPA) is principally a mixture of four TEPA ethyleneamines with close boiling points including linear, branched, and two cyclic TEPA products, and higher molecular weight products.

These compounds are:

- TEPA (CAS #000112-57-2, N-(2-aminoethyl)-N'-[2-[(2-aminoethyl)amino]ethyl]-1,2-ethanediamine)
- AETETA (CAS #031295-46-2, 4-(2-aminoethyl)-N-(2-aminoethyl)-N'-[2-[(2-aminoethyl)amino]ethyl]-1,2-ethanediamine)
- APEEDA (CAS #031295-54-2, 1-(2-aminoethyl)-4-[(2-aminoethyl)amino]ethyl-piperazine)
- PEDETA (CAS #031295-49-5, 1-[2-[[2-[(2-aminoethyl)amino]ethyl]-amino]ethyl]-piperazine)



APPLICATIONS

- Asphalt additives
- Corrosion inhibitors
- Epoxy curing agents
- Hydrocarbon purification
- Lube oil and fuel additives
- Mineral processing aids
- Polyamide resins
- Surfactants
- Textile additives

SALES SPECIFICATIONS

Property	Specifications	Test Method*
Amines, mol wt < TEPA, wt. %	3.0 max.	ST-35.225
Amines, mol wt > TEPA, wt. %	3.0 max.	ST-35.225
Appearance	Clear amber liquid	ST-30.1
Assay, TEPA, wt. %	95.0 min.	ST-35.225
Color, Gardner	4 max.	ST-30.13
Total piperazines, wt. %	38 max.	ST-35.225
Water, wt. %	0.50 max.	ST-31.53, 6

*Methods of Test are available from Huntsman Corporation upon request.

ADDITIONAL INFORMATION

Regulatory Information		Physical Properties	
DOT/TDG Classification	Tetraethylenepentamine	Heat of vaporization, BTU/lb	131.5
HMIS Code	3-1-0	Heat of combustion, BTU/lb	14437
WHMIS Classification	D1B, D2A, D2B, E	Ionization constants, K _a 1	6.5E-5
Chemical Control Laws		Ionization constants, K _a 2, 25°C	6.5E-6
Canada, DSL	Listed	Kinematic viscosity, cSt, 25°C	54.1
United States, TSCA	Listed	Kinematic viscosity, cSt, 40°C	24.6
Typical Physical Properties		Molecular weight, Linear component	180.30
Amine value, mg KOH/g	1343	Molecular weight, Typical product	200
Boiling point, 760 mm Hg, °C	332	Nitrogen content, %	35.1
Coefficient of expansion, 1°C, 20°C	0.000681	pH of 1 wt. % solution	11.5
Density, g/ml, 20°C	0.991	Refractive index, 25°C	1.534
Dielectric constant, 25°C and 1 kHz	12.0	Specific gravity, 20/20°C	0.993
Electrical conductivity, µmhos/cm, 24°C	0.0085	Specific heat, cal/g °C, 20°C	0.451
Freezing point, °C	-30	Surface tension, dynes/cm, 20°C	39.3
Heat of formation, kcal/mol	-19.7	Thermal conductivity, cal/cm-sec-°C, 20°C	0.000435
		Vapor pressure, mm Hg, 20°C	< 0.01
		Viscosity, cP, 20°C	23.4

TOXICITY AND SAFETY

Because of the fragility of eye tissue, almost any eye contact with any ethyleneamine may cause irreparable damage, even blindness. A single, short exposure to ethyleneamines, may cause severe skin burns, while a single, prolonged exposure may result in the material being absorbed through the skin in harmful amounts. Exposures have caused allergic skin reactions in some individuals. Single dose oral toxicity of ethyleneamines is low. The oral LD₅₀ for rats is in the range of 1000 to 4500 mg/kg for the ethyleneamines.

The principal hazards that arise in working with tetraethylenepentamine (TEPA) are those associated with similar organic amines; namely, a corrosive action on skin and eyes. Precautions should be taken to prevent contact with these parts of the body such as by use of protective clothing and chemical goggles. If contact occurs, immediately flush the exposed area with plenty of water for at least 15 minutes. Eye exposures should be examined by a physician. Contaminated clothing should be laundered before reuse. If ingestion occurs, do not induce vomiting. Have the individual drink a large amount of water (or milk, if it is readily available) and transport them to a medical facility immediately.

HANDLING AND STORAGE

In order to maintain the high degree of purity with which tetraethylenepentamine (TEPA) is manufactured and shipped, the following storage and handling considerations are recommended:

Dry Inert Gas Blanket

This product should be stored under a dry inert gas blanket, such as nitrogen, to minimize contamination resulting from contact with air and water.

Materials of Construction

If slight coloration of the ethyleneamine is acceptable, storage tanks may be made of carbon steel or black iron, provided they are free of rust and mill scale. However, if the amine is stored in such tanks, color may develop due to iron contamination. If iron contamination cannot be tolerated, tanks constructed of types 304 or 316 stainless steel should be used. (Note: Because they are quickly corroded by amines, do not use copper, copper alloys, brass, or bronze in tanks or lines.) Recommended storage construction for TEPA is stainless steel or carbon steel.

Storage Temperature

Tetraethylenepentamine (TEPA) has a pour point of -30°C. To avoid freezing, the product should be maintained above this temperature.

Spills or Leaks

Small spills should be covered with inorganic absorbents and disposed of properly. Organic absorbents have been known to ignite when contaminated with amines in closed containers. Certain cellulosic materials used for spill cleanup such as wood chips or sawdust have shown reactivity with ethyleneamines and should be avoided. Large spills should be contained and recovered. Water may be used for clean-up purposes, but avoid disposing of the material into sewers or natural water bodies. Disposal should be in accordance with all federal, state and local laws, regulations, and ordinances. Ethyleneamine leaks will frequently be identified by the odor (ammoniacal) or by the formation of a white, solid, waxy substance (amine carbamates). Inorganic absorbents or water may be used to clean up the amine waste.

AVAILABILITY

Tetraethylenepentamine (TEPA) is available in bulk and in 55-gallon drums of 205 Kg net weight. Samples are available by contacting our sample department at 1-800-662-0924.

5006-0924

Huntsman Corporation
Business Offices
10003 Woodloch Forest Dr.
The Woodlands, TX 77380
(281) 719-6000

Huntsman Advanced Technology
Center
Technical Service
8600 Gosling Rd.
The Woodlands, TX 77381
(281) 719-7780

Samples 1-800-662-0924

www.huntsman.com

Copyright © 2007, 2008 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.

Huntsman Corporation warrants only that its products meet the specifications stated herein. Typical properties, where stated, are to be considered as representative of current production and should not be treated as specifications. While all the information presented in this document is believed to be reliable and to represent the best available data on these products, HUNTSMAN MAKES NO WARRANTY OR GUARANTEE OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, NON-INFRINGEMENT OF ANY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF ANY THIRD PARTY, OR WARRANTIES AS TO QUALITY OR CORRESPONDENCE WITH PRIOR DESCRIPTION OR SAMPLE, AND ANY USER OF PRODUCTS DESCRIBED HEREIN SHOULD CONDUCT A SUFFICIENT INVESTIGATION TO ESTABLISH THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR ITS INTENDED USE AND ASSUMES ALL RISK AND LIABILITY WHATSOEVER RESULTING FROM THE USE OF SUCH PRODUCT, WHETHER USED singly OR IN COMBINATION WITH OTHER SUBSTANCES. Product(s) described in this publication may be hazardous and/or toxic and require special precautions in handling. For all product(s) described herein, the user should obtain from Huntsman detailed information on hazards and/or toxicity, together with proper shipping, handling, and storage procedures, and should comply with all applicable safety and environmental standards. The behavior, hazards and/or toxicity of the product(s) referred to in this publication in manufacturing processes and their suitability in any given end-use environment are dependent upon various conditions such as chemical compatibility, temperature, and other variables, which may not be known to Huntsman. It is the sole responsibility of the user of such product(s) to evaluate the manufacturing circumstances and the final product(s) under actual end-use requirements and to adequately advise and warn future purchasers and users thereof.

APÉNDICE M

HOJA TÉCNICA DE RESINA EPÓXICA GE38



TECHNICAL BULLETIN

ERISYS™ GE-38 Polyglycerol-3-Polyglycidyl Ether Aliphatic Trifunctional Epoxy CAS NO. 118549-88-5

DESCRIPTION

ERISYS GE-38, epoxidized Polyglycerol, is a medium viscosity, aliphatic triepoxide. GE-38 is compatible with most standard epoxy resins at all concentrations and can be cured using any epoxy resin curing agent.

APPLICATIONS

- Crosslinking of Acid Functional Resins
- Reactive Diluent for Adhesives, Coatings, Potting, and Encapsulation
- Use in Sizing Compositions for Carbon Fiber
- Super Elastic Epoxy Hydrogels
- Preparation of Membranes for Reverse Osmosis with High Fouling Resistance
- Antimicrobial Fabrics
- Preparation of Porous Polymers for use in Specialized Filters with Biological Applications

TYPICAL PROPERTIES

Appearance	Clear, Clean
Viscosity @ 25°C, cps	1070-1390
Epoxy Equivalent Weight, g/eq	160-180
Gardner Color, max	4
Residual Epichlorohydrin, max ppm	10
Hydrolyzable Chloride, max %	1.0
Weight per Gallon, @ 25°C lbs.	10.2
Flash Point, °C (°F)	>93 (200)

HEALTH & SAFETY RECAUTIONS

ERISYS GE-38 is not a primary skin irritant and sensitizer. However, as with any epoxy material, irritation can result from repeated or prolonged contact. The symptoms of this irritation may appear as a mild reddening or a more pronounced rash. It is, therefore, important to avoid skin contact where possible. Rubber gloves, full eye protection, and protective clothing are recommended.

Refer to the CVC Thermoset Specialties Material Safety Data Sheet on ERISYS GE-38 for additional safety & handling information. The MSDS is revised as new data becomes available.

REGULATORY STATUS

ERISYS GE-38 is not TSCA registered and therefore not available for sale in the United States. Samples are available for R&D use only. See the MSDS on this product for additional information on worldwide inventory status.

PACKAGING & AVAILABILITY

ERISYS GE-38 is available in 55-gallon steel non-returnable drums (441 lbs. net) and 5 gallon plastic pails (45 lbs. net).

CVC Thermoset Specialties

844 North Lanola Road / Moorestown, NJ 08057 / Phone: 856-533-3000 / Fax: 856-533-3003 / www.emeraldmaterials.com

DISCLAIMER

The information contained herein is believed to be reliable, but no representations, guarantees or warranties of any kind are made as to its accuracy, suitability for particular applications or the results to be obtained there from. The information is based on laboratory work with small-scale equipment and does not necessarily indicate end product performance. Because of the variations in methods, conditions, and equipment used commercially in processing these materials, no warranties or guarantees are made as to the suitability of the products for the applications disclosed. Full-scale testing and end product performance are the responsibility of the user. CVC Thermoset Specialties shall not be liable for and the customer assumes all risk and liability of any use or handling of any material beyond CVC's direct control. THE SELLER MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OR MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Nothing contained herein is to be considered permission, recommendation, nor as an inducement to practice any patented invention without permission of the patent owner. IN NO EVENT SHALL SELLER BE LIABLE FOR ANY INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR SPECIAL DAMAGES.

CVC Thermoset Specialties—844 N. Lenola Road/Moorestown, NJ 08057
An Emerald Performance Materials Company

© Copyright 2008 Emerald Performance Materials LLC. 6/2008

APÉNDICE N

HOJA TÉCNICA DE RESINA EPÓXICA GE40



TECHNICAL BULLETIN

ERISYS™ GE-40
Pentaerythritol Polyglycidyl Ether
Aliphatic Tetrafunctional Epoxy
CAS NO. 30973-88-7
EINECS - Polymer (Monomers Listed)

DESCRIPTION

ERISYS GE-40, epoxidized Pentaerythritol, is a medium viscosity, aliphatic tetraepoxide. GE-40 is compatible with most standard epoxy resins at all concentrations and can be cured using any epoxy resin curing agent.

APPLICATIONS

- Crosslinking of Acid Functional Resins
- Reactive Diluent for Adhesives, Coatings, Potting, and Encapsulation
- Use in Sizing Compositions for Carbon Fiber
- Production of polymeric microporous membranes
- Photoresists

TYPICAL PROPERTIES

Appearance	Clear, Clean
Viscosity @ 25°C, cps	900-1200
Epoxide Equivalent Weight, g/eq	158-170
Gardner Color, max	3
Residual Epichlorohydrin, max ppm	10
Hydrolyzable Chloride, max %	1.5
Weight per Gallon, @ 25°C lbs.	10.4
Flash Point, °C (°F)	151 (304)

HEALTH & SAFETY RECAUTIONS

ERISYS GE-40 is not a primary skin irritant and sensitizer. However, as with any epoxy material, irritation can result from repeated or prolonged contact. The symptoms of this irritation may appear as a mild reddening or a more pronounced rash. It is, therefore, important to avoid skin contact where possible. Rubber gloves, full eye protection, and protective clothing are recommended.

Refer to the CVC Thermoset Specialties Material Safety Data Sheet on ERISYS GE-40 for additional safety & handling information. The MSDS is revised as new data becomes available.

REGULATORY STATUS

ERISYS GE-40 is not TSCA registered and therefore not available for sale in the United States. Samples are available for R&D use only. See the MSDS on this product for additional information on worldwide inventory status.

PACKAGING & AVAILABILITY

ERISYS GE-40 is available in 55-gallon steel non-returnable drums (480 lbs. net) and 5 gallon plastic pails (45 lbs. net).

DISCLAIMER

The information contained herein is believed to be reliable, but no representations, guarantees or warranties of any kind are made as to its accuracy, suitability for particular applications or the results to be obtained there from. The information is based on laboratory work with small-scale equipment and does not necessarily indicate end product performance. Because of the variations in methods, conditions, and equipment used commercially in processing these materials, no warranties or guarantees are made as to the suitability of the products for the applications disclosed. Full-scale testing and end product performance are the responsibility of the user. CVC Thermoset Specialties shall not be liable for and the customer assumes all risk and liability of any use or handling of any material beyond CVC's direct control. **THE SELLER MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.** Nothing contained herein is to be considered permission, recommendation, nor as an inducement to practice any patented invention without permission of the patent owner. **IN NO EVENT SHALL SELLER BE LIABLE FOR ANY INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR SPECIAL DAMAGES.**

CVC Thermoset Specialties—844 N. Lenola Road/Moorestown, NJ 08057
An Emerald Performance Materials Company

© Copyright 2006 Emerald Performance Materials LLC. 6/2006

APÉNDICE Ñ

HOJA TÉCNICA DE RESINA EPÓXICA GE60



TECHNICAL BULLETIN

ERISYS™ GE-60 **Sorbitol Glycidyl Ether -** **Aliphatic Polyfunctional Epoxy Resin** **CAS NO. 68412-01-1**

DESCRIPTION

ERISYS GE-60, epoxidized sorbitol, is an aliphatic multifunctional epoxy resin. This resin will impart both higher reactivity and crosslink density to epoxy resin formulations.

Additionally, ERISYS GE-60 can be used to crosslink acid functional polyurethane and acrylic resins for improved chemical resistance in light stable coatings.

APPLICATIONS

- Crosslinker for Acrylic and Polyurethane Resins
- Accelerator for Epoxy Resins

TYPICAL PROPERTIES

Appearance	Clear, Clean
Viscosity @ 25°C, cps	8,000 – 18,000
Epoxide Equivalent Weight, g/eq	160 - 195
Gardner Color, max	2
Residual Epichlorohydrin, max ppm	50
Hydrolyzable Chloride, max %	0.50
Weight per Gallon, @ 25°C lbs.	10.7 ± 0.1
Flash Point, °C (°F)	>160 (>320)

HEALTH & SAFETY PRECAUTIONS

ERISYS GE-60 is not a primary skin irritant or sensitizer. However, as with any epoxy material, irritation can result from repeated or prolonged contact. The symptoms of this irritation may appear as a mild reddening or a more pronounced rash. It is, therefore, important to avoid skin contact where possible. Butyl rubber gloves, full eye protection and protective clothing are recommended.

Refer to CVC Thermoset Specialties Material Safety Data Sheet on ERISYS GE-60 for additional safety and health information. The MSDS is revised as new data becomes available.

PACKAGING & AVAILABILITY

ERISYS GE-60 is available in 55 gal. non-returnable steel drums (net weight 480 lbs.) and 5 gal. plastic pails (45 lbs. net). Bulk shipments are available with adequate lead-time. Drum inventory is available at most CVC regional warehouses. Check with your local sales representative for the shipping location nearest you.

DISCLAIMER

The information contained herein is believed to be reliable, but no representations, guarantees or warranties of any kind are made as to its accuracy, suitability for particular applications or the results to be obtained there from. The information is based on laboratory work with small-scale equipment and does not necessarily indicate end product performance. Because of the variations in methods, conditions, and equipment used commercially in processing these materials, no warranties or guarantees are made as to the suitability of the products for the applications disclosed. Full-scale testing and end product performance are the responsibility of the user. CVC Thermoset Specialties shall not be liable for and the customer assumes all risk and liability of any use or handling of any material beyond CVC's direct control. THE SELLER MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OR MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Nothing contained herein is to be considered permission, recommendation, nor as an inducement to practice any patented invention without permission of the patent owner. IN NO EVENT SHALL SELLER BE LIABLE FOR ANY INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR SPECIAL DAMAGES.

CVC Thermoset Specialties—844 N. Lenola Road/Moorestown, NJ 08057
An Emerald Performance Materials Company

© Copyright 2008 Emerald Performance Materials LLC. 6/2008

APÉNDICE O

HOJA TÉCNICA DE RESINA EPON828



Technical Data Sheet

Re-issued September 2005

EPON™ Resin 828

Product Description

EPON™ Resin 828 is an undiluted clear difunctional bisphenol A/epichlorohydrin derived liquid epoxy resin. When cross-linked or hardened with appropriate curing agents, very good mechanical, adhesive, dielectric and chemical resistance properties are obtained. Because of this versatility, EPON Resin 828 has become a standard epoxy resin used in formulation, fabrication and fusion technology.

Benefits

- Fiber reinforced pipes, tanks and composites
- Tooling, casting and molding compounds
- Construction, electrical and aerospace adhesives
- High solids/low VOC maintenance and marine coatings
- Electrical encapsulations and laminates
- Chemical resistant tank linings, flooring and grouts
- Base resin for epoxy fusion technology

Sales Specification

Property	Units	Value	Test Method/Standard
Weight per Epoxide	g/eq	185 – 192	ASTM D1652
Viscosity at 25°C	P	110 – 150	ASTM D445
Color	Gardner	1 max.	ASTM D1544

Typical Properties

Property	Units	Value	Test Method/Standard
Density at 25°C	lb/gal	9.7	ASTM D1475
Denisty at 25°C	g/ml	1.16	
Vapor pressure @ 25°C (77° F)	mm Hg	0.03	
Refractive index @ 25°C (77° F)		1.573	
Specific heat	BTU/lb°F	0.5	

Processing/How to use

General Information

The low viscosity and cure properties of EPON Resin 828 allow its use under various application and fabrication techniques including:

• Spraying and brushing	• Pultrusion
• Filament winding	• Casting
• Pressure laminating	• Molding
• Vacuum bag laminating	• Troweling

Curing Agents

EPON Resin 828 can be cured or cross-linked with a variety of curing agents depending on properties desired in the finished product and the processing conditions employed. Some commonly used curing agents, recommended concentrations, typical cure schedules employed in major end-use applications, plus sources for these curing agents are displayed in Table 1.

Performance Properties

Performance Characteristics of Cured EPON Resin 828

Mechanical Properties

High performance, high strength materials are obtained when this resin is cured with a variety of curing agents. Unfilled systems in common use have tensile values greater than 10,000 psi (69 MPa) with modulus values greater than 400,000 psi (2750 MPa). Such systems are normally very rigid. If greater flexibility is needed systems can be formulated to provide up to 300% elongation.

Adhesive Properties

One of the most widely recognized properties of cured EPON Resin 828 is strong adhesion to a broad range of substrates. Such systems exhibit shear strength of up to 6,000 psi (41 Mpa). One factor which contributes to this property is the low shrinkage shown by these systems during cure. Compared to other polymers, epoxy resins have low internal stresses resulting in strong and durable finished products.

Electrical Properties

EPON Resin 828 cured systems have very good electrical insulating characteristics and dielectric properties. For example, systems can be obtained with anhydride and amine curing agents having volume resistivities up to 1×10^{16} ohm-cm, dielectric constants of 3-5 and dissipation factors of 0.002 to 0.020 at ambient conditions. Electrical encapsulations, laminates and molding compounds are frequently based on EPON Resin 828.

Chemical Resistance

Cured EPON Resin 828 is highly resistant to a broad range of chemicals, including caustic, acids, fuels and solvents. Chemically resistant reinforced structures and linings or coatings over metal can be formulated with EPON Resin 828.

Formulating Techniques

EPON Resin 828

The primary components of a thermosetting resin formula are the epoxy resin and the hardener or curing agent. However, in practice other materials are normally incorporated to achieve special properties. For example, inert fillers such as silicas, talcs, calcium silicates, micas, clays and calcium carbonate can be added to further reduce shrinkage and improve dimensional stability. Also, reactive diluents can be added to EPON Resin 828 to reduce viscosity. The effect on viscosity by adding such materials is shown in Figure 1.

Table 1 / Curing Agents for EPON™ 828

Curing Agent ¹	Physical State	Recommended Concentration Range, phr ²	Typical Cure Schedule Time °C.(F)	Deflection Temperature °C.(F)	Applications ⁴	Suppliers ⁵
<i>Aliphatic Amines</i>						
EPIKURE™ 3223 (DETA)	Liquid	12	7d, 25 (77)	120(250)	ABCDEFHI	5
EPIKURE 3234 (TETA)	Liquid	13	7d, 25 (77)	120(250)	ABCDEFHI	5
EPIKURE 3200 (AEP)	Liquid	22	24h, 25 (77) & 1h, 150 (300)	120(250)	BCEFGH	5
EPIKURE 3270	Liquid	75	14d, 25 (77)	58(133)	ABCDEFHI	5
EPIKURE 3271	Liquid	18	14d, 25 (77)	68(151)	ABCDEFHI	5
EPIKURE 3274	Liquid	40	14d, 25 (77)	—	ABCDEFHI	5
EPIKURE 3230	Liquid	35	7d, 25 (77)	68(155)	ABCDEFHI	1
D-400 Type PEA	Liquid	55	30 min, 115(240)	31(88)	ABCEFH	1
<i>Cycloaliphatic Amines</i>						
EPIKURE 3370	Liquid	38	7d, 25 (77)	58(133)	ABCDEFHI	5
EPIKURE 3382	Liquid	63	7d, 25 (77)	63(145)	ABCDEFHI	5
EPIKURE 3383	Liquid	60	24h, 25 (77) & 2h, 100	54(129)	ABCDEFHI	5

EPON Resin 828

(212)

Polyamides

EPIKURE 3115	Liquid	120	1h, 100 (212)	85(185)	AB	5
EPIKURE 3125	Liquid	90	7d, 25 (77)	90(195)	ABCEFH	5
EPIKURE 3140	Liquid	75	7d, 25 (77)	115(240)	ABCEFH	5
Aminoamines						
EPIKURE 3015	Liquid	50	16h, 25 (77) & 2h, 93 (200)	—	ABCDEFGHI	5
EPIKURE 3055	Liquid	50	16h, 25 (77) & 2h, 93 (200)	67(153)	ABCDEFGHI	5
EPIKURE 3072	Liquid	35	14d, 25 (77)	59(138)	ABCDEFGHI	5
Aromatic Amines						
EPIKURE W	Liquid					5
Metaphenylenediamine (MPDA)	Solid	14	2h, 80 (175) & 2h, 150 (300)	150(300)	BCDGH	3
Methylene dianiline (MDA)	Solid	27	2h, 80 (175) & 2h, 150 (300)	160(320)	BCDEGHI	13
Diaminodiphenyl Sulfone (DADS)	Solid	25	5h, 125 (257) & 1h, 200 (392)	170(350)	BCDGH	2, 13

Table 1 / Curing Agents for EPON™ 828, cont.

Curing Agent ¹	Physical State	Recommended Concentration Range, phr ²	Typical Cure Schedule	Deflection Temperature °C (°F)	Applications ⁴	Suppliers ⁵
---------------------------	----------------	--	-----------------------------	--------------------------------------	---------------------------	------------------------

			Time				
			°C (°F)				
Anhydrides							
Methyl tetrahydrophthalic Anhydride (MTHPA)	Liquid	80	2h, 120 (250) & 2h, 150 (300)	130(266)	BCDGH	9, 11, 14	
NADIC Methyl Anhydride (NMA)	Liquid	90	1h, 120 (250) & 2-24h, 260(500)	180(356)	BCDGH	9, 14	
Hexahydrophthalic Anhydride (HHPA)	Solid	80	1h, 80 (175) & 2h, 150 (300)	130(265)	BCDGH	8, 12, 14	
Catalysts and Miscellaneous							
2-Ethyl- 4-Methyl Imidazole (EMI-24)	Metastable Liquid	3	4h, 50 (122) & 2h, 170 (340)	170(340)	BCDGH	15, 16	
BF3-Monoethylamine (BF3-MEA)	Liquid	3	1h, 120 (250) & 2h, 170 (340)	170(340)	BCDGH	17	
Diethylaminopropylamine *	Solid	6	30 min, 115(240)	100(212)	ABC	6	
Dicyandiamide	Solid	4	1h, 177 (350)	150(300)	BCDGH	18, 19	

* Cures can be effected with these curing agents over a wide range of temperatures. Higher temperatures yield shorter cure times and highest Tg.

† Parts of curing agent per 100 parts of resin.

‡ Systems cured at room temperature were post cured at elevated temperature to achieve deflection values.

§ Application codes: A - Coatings; B - Adhesives; C - Castings; D - Moldings; E - Flooring; F - Paving; G - Electrical Laminates; H - Structural Laminates; I-Filament Winding.

¶ Supplier Code:

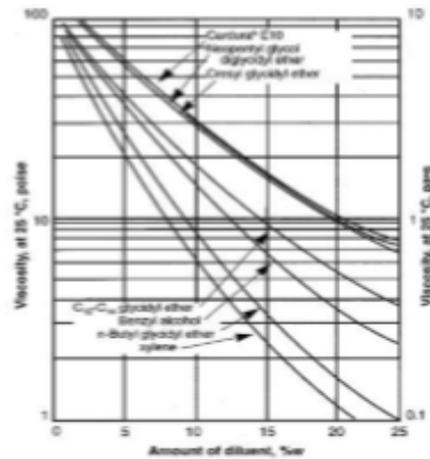
1. Huntsman Chemical
2. RSA Corporation
3. E.I. DuPont de Nemours & Co., Chemicals & Pigments Dept.
4. Harshaw Chemical Company
5. Momentive Specialty Chemical
6. BASF Corporation
7. American Cyanamid - Industrial Chemical Div.

EPON Resin 828

8. Milliken & Company
9. Lindau Chemicals, Inc.
10. Anhydrides and Chemicals, Inc.
11. Dixie Chemical Co., Inc.
12. Buffalo Color Corp.
13. Air Products and Chemicals, Inc.
14. Lonza
15. Interchem
16. Polyorganix
17. Atotech
18. SKW Trotsberg
19. Ashland Chemical

⁴ Dimethylamino propylamine may be substituted at expense of slightly reduced pot life. Sources are 2 and 16.

Figure 1 / Viscosity at 25 °C of EPON™ Resin 828 blends with various diluents



Fusion Technology

EPON Resin 828 is the product of choice for a resin chemist using a specific fusion catalyst when processing proprietary solid epoxy resins or epoxy esters. Upon request, Momentive Specialty Chemicals can provide EPON Resin 828 exhibiting extremely low hydrolyzable and total chlorine, two end groups that may be deleterious to resin curing and long term performance in electrical uses.

FDA Status

Provisions are made in the FDA regulations for the use of EPON Resin 828, when properly formulated, applied and cured, for food contact applications under Title 21 Code of Federal Regulations 175.300. The regulations should be consulted for complete details. In particular, we direct your attention to subparagraph (b) of 21 CFR 174.5 and the general provisions applicable to indirect food additives listed there.

EPON Resin 828

Identification and Classification

Chemical Abstract Service Registry Number: 25068-38-6 (EPA/TSCA inventory designation)

Generic name: Liquid Bisphenol A Epichlorohydrin based epoxy resin.

Chemical designation: Phenol, 4,4O - (1-methylethylidene) bis-polymer with (chloromethyl) oxirane.

Figure 2 / Viscosity - temperature profile for EPON™ Resin 828

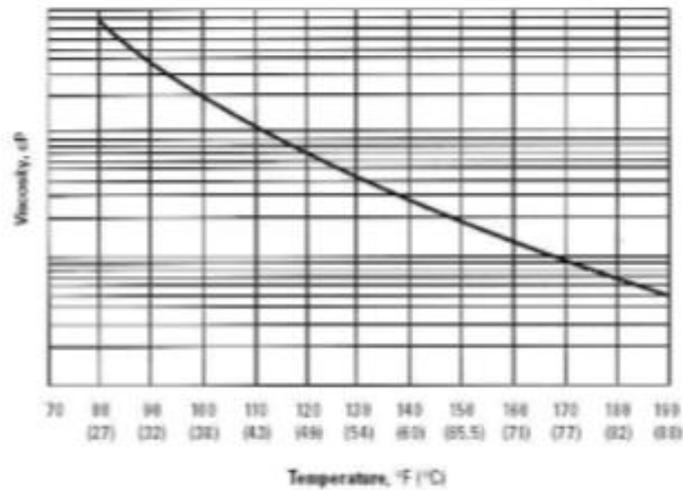
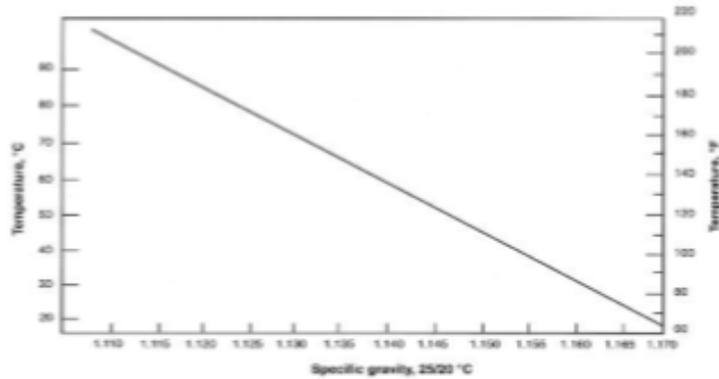


Figure 3 / Specific gravity - temperature profile for EPON™ Resin 828

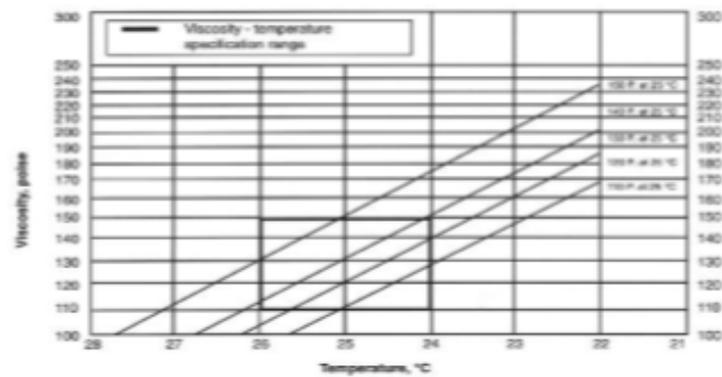
EPON Resin 828



Formulation and Application Information

For additional performance characteristics information covering adhesives, laminating, casting and molding applications, consult bulletin SC-67, entitled "EPON Resin Structural Reference Manual." For epoxy resin amine-cured coatings, consult bulletin SC-193, entitled "Formulating Amine-Cured Coatings with EPON Resin."

Figure 4 / Viscosity - temperature profile (for 5 samples of EPON™ Resin 828 ranging in viscosity from 110-150 poise)



Safety, Storage & Handling

Please refer to the MSDS for the most current Safety and Handling information.

Please refer to the Momentive web site for Shelf Life and recommended Storage information.

EPON Resin 828 is an undiluted liquid epoxy resin that is available in tank cars, tank trucks and 500 pound net closed head drums. EPON Resin 828 is normally shipped in bulk from 150 °F (66 °C) to 180 °F (82 °C)

EPON Resin 828

and can be stored at 120-140 °F (40-60 °C) for ease of handling. The viscosity/temperature profile and the specific gravity/temperature profile for EPON Resin 828 are displayed in Figures 2 and 3 respectively for your guidance.

NOTE OF CAUTION: When checking viscosity of EPON Resin 828 incoming samples, we caution you to make certain that the product is maintained at 25 +/- 0.01 °C before testing. You will note in Figure 4 that EPON Resin 828 can vary in viscosity by 10-15 poise for each degree in temperature the product varies from 25 °C.

Exposure to these materials should be minimized and avoided, if feasible, through the observance of proper precautions, use of appropriate engineering controls and proper personal protective clothing and equipment, and adherence to proper handling procedures. None of these materials should be used, stored, or transported until the handling precautions and recommendations as stated in the Material Safety Data Sheet (MSDS) for these and all other products being used are understood by all persons who will work with them. Questions and requests for information on Momentive Specialty Chemicals Inc. ("Momenive") products should be directed to your Momenive sales representative, or the nearest Momenive sales office. Information and MSDSs on non-Momenive products should be obtained from the respective manufacturer.

Packaging

Available in bulk and drum quantities.

Contact Information

For product prices, availability, or order placement, call our toll-free customer service number at 1-877-859-2800

For literature and technical assistance, visit our website at: www.momenive.com

® and ™ Licensed trademarks of Momentive Specialty Chemicals Inc.

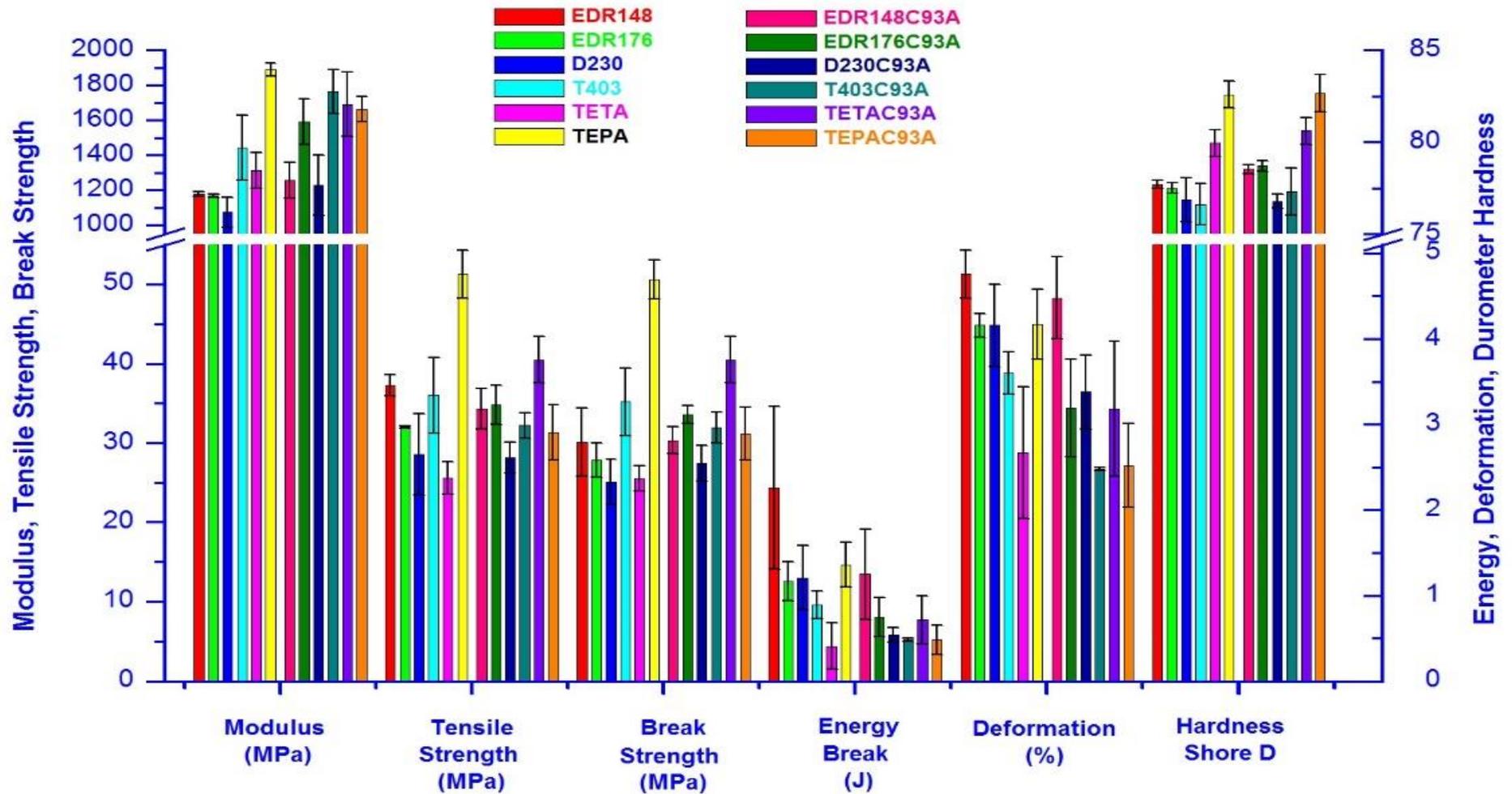
DISCLAIMER

The information provided herein was believed by Momentive Specialty Chemicals Inc. ("Momenive") to be accurate at the time of preparation or prepared from sources believed to be reliable, but it is the responsibility of the user to investigate and understand other pertinent sources of information, to comply with all laws and procedures applicable to the safe handling and use of the product and to determine the suitability of the product for its intended use. All products supplied by Momentive are subject to Momentive's terms and conditions of sale. MOMENTIVE MAKES NO WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, CONCERNING THE PRODUCT OR THE MERCHANTABILITY OR FITNESS THEREOF FOR ANY PURPOSE OR CONCERNING THE ACCURACY OF ANY INFORMATION PROVIDED BY MOMENTIVE, except that the product shall conform to Momentive's specifications. Nothing contained herein constitutes an offer for the sale of any product.

PDS-3942- (Rev.7/28/2014 12:12:21 PM)

APÉNDICE P

DIAGRAMA DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE PROBETAS DE RESINA-AMINAS CON ARCILLA



BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR ERICK, RIGAIL ANDRES F.; Propiedades Anticorrosivas de un Recubrimiento Nanocompuesto de Epóxica/Amina/Nanoarcillas, 2006, 125.
2. MESSERSMITH PHILLIP B.; GIANNELIS EMMANUEL P., Chem Mater, 1994, 6, 1719.
3. ARROYO HUGO E.; MACÍAS FERNANDO K.; MIRANDA JOSÉ M., Análisis de la Dispersión de Arcillas y Organoarcillas en Resinas Bio-Epóxicas y Aminas Alifáticas en Presencia de Inhibidores Volátiles de Corrosión, 2012, 3.
4. MICHAEL ALEXANDRE; PHILIPPE DUBOIS, Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials, 2000, 28, 1.
5. LAN TIE; PINNAVAIA THOMAS J., Chem Mater, 1994, 6, 2216.
6. JAHROMI SAEED G.; KHODAII ALI, Construction and Building Materials, 2009, 23, 2895.
7. MICHAEL ALEXANDRE, PHILIPPE DUBOIS, Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials, 2000, 28, 3.

8. MICHAEL ALEXANDRE, PHILIPPE DUBOIS, Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials, 2000, 28, 5.
9. BETEGA DE PAIVA LUCILENE, MORALES ANA R.; VALENZUELA FRANCISCO R.; Applied Clay Science, 2008, 42, 17.
10. Hoja Técnica (Cloisite 20) en Línea:
[<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=85d5971e2c084a0a9f7e246fcbbcf3c1>]
11. Hoja Técnica (Cloisite 20A) en Línea:
[http://www.neunano.com/index.php?view=article&id=71%3Acloisiter-20a&format=pdf&option=com_content&Itemid=82]
12. Hoja Técnica (Cloisite 93A) en Línea:
[<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=3181d0899a0b46a592eb37c47f0f841b>]
13. YOUNGJAE YOO, RAJKIRAN TIWARI, YOUNG-TAI YOO, DONALD PAUL, Polymer, 2010, 51, 4908-4909.
14. Hoja Técnica (Cloisite 30B) en Línea:
[<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=1213e923b3544011850ad51fa523571c&ckck=1>]

15. Hoja Técnica (Cloisite 30B) en Línea:
[http://www.neunano.com/index.php?view=article&id=72%3Acloisiter-30b&format=pdf&option=com_content&Itemid=83]
16. ARROYO HUGO E.; MACÍAS FERNANDO K.; MIRANDA JOSÉ M.,
Análisis de la Dispersión de Arcillas y Organoarcillas en Resinas Bio-Epóxicas y Aminas Alifáticas en Presencia de Inhibidores Volátiles de Corrosión, 2012, 13-14.
17. Hoja Técnica (JEFFAMINE EDR-148) en Línea:
[<http://www.huntsman.com/portal/page/portal/C348531D1B0DA9A2E040EBCD2B6B7B06>]
18. Hoja Técnica (JEFFAMINE EDR-176) en Línea:
[<http://www.huntsman.com/portal/page/portal/C348531D1B1DA9A2E040EBCD2B6B7B06>]
19. Hoja Técnica (JEFFAMINE Polyetheramines) en Línea:
[<http://www.huntsman.com/portal/page/portal/C348531D1B6DA9A2E040EBCD2B6B7B06>]
20. Hoja Técnica (JEFFAMINE D-230) en Línea:
[<http://www.huntsman.com/portal/page/portal/C348531D1A9DA9A2E040EBCD2B6B7B06>]

21. Hoja Técnica (JEFFAMINE T-403) en Línea:
[<http://www.huntsman.com/portal/page/portal/C348531D1BCDA9A2E040EBCD2B6B7B06>]
22. Hoja Técnica (TETA) en Línea:
[<http://www.huntsman.com/portal/page/portal/C348531D25BDA9A2E040EBCD2B6B7B06>]
23. Hoja Técnica (TEPA) en Línea:
[<http://www.huntsman.com/portal/page/portal/C348531D253DA9A2E040EBCD2B6B7B06>]
24. SMITH WILLIAM F.; Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Editorial Mc. Graw Hill, España 1998, 3ra Edición, 374-376.
25. Hoja Técnica (ERISYS GE) en Línea:
[http://www.cvc.emeraldmaterials.com/cms/cvc/page.html?p_name=Multi-Epoxy%20Functional%20-%20Glycidyl%20Ethers]
26. Hoja Técnica (EPON Resins) en Línea:
[<http://www.momentive.com/Products/Main.aspx?id=988>]
27. Hoja Técnica (GE-38) en Línea:
[http://www.cvc.emeraldmaterials.com/cms/cvc/fis_ftp.downloadPublicDoc?p_filename=GE38_TDS_ENG.pdf&p_doc_type=TDS]

28. ARROYO HUGO E.; MACÍAS FERNANDO K.; MIRANDA JOSÉ M.,
Análisis de la Dispersión de Arcillas y Organoarcillas en Resinas Bio-
Epóxicas y Aminas Alifáticas en Presencia de Inhibidores Volátiles de
Corrosión, 2012, 22-23.
29. Hoja Técnica (GE-40) en Línea:
[http://www.cvc.emeraldmaterials.com/cms/cvc/fis_ftp.downloadPublicDoc?p_filename=GE40_TDS_ENG.pdf&p_doc_type=TDS]
30. Hoja Técnica (GE-60) en Línea:
[http://www.cvc.emeraldmaterials.com/cms/cvc/fis_ftp.downloadPublicDoc?p_filename=GE60_TDS_ENG.pdf&p_doc_type=TDS]
31. Hoja Técnica (EPON-828) en Línea:
[<http://www.momentive.com/Products/TechnicalDataSheet.aspx?id=3942>]
32. ARROYO HUGO E.; MACÍAS FERNANDO K.; MIRANDA JOSÉ M.,
Análisis de la Dispersión de Arcillas y Organoarcillas en Resinas Bio-
Epóxicas y Aminas Alifáticas en Presencia de Inhibidores Volátiles de
Corrosión, 2012, 21.
33. RODRIGUEZ NÉSTOR I.; Optimización de Arcillas Tratadas con un
Inhibidor Orgánico Volátil para su Aplicación como medio de Resistencia
a la Corrosión en Aceros de Bajo Carbono, 2011, 41-44.

34. RODRIGUEZ NÉSTOR I.; Optimización de Arcillas Tratadas con un Inhibidor Orgánico Volátil para su Aplicación como medio de Resistencia a la Corrosión en Aceros de Bajo Carbono, 2011, 50-51.
35. ARROYO HUGO E.; MACÍAS FERNANDO K.; MIRANDA JOSÉ M., Análisis de la Dispersión de Arcillas y Organoarcillas en Resinas Bio-Epóxicas y Aminas Alifáticas en Presencia de Inhibidores Volátiles de Corrosión, 2012, 24.
36. SHAMES IRVING H.; Mecánica de Fluidos, Editorial Mc. Graw Hill, Colombia, 1995, 3ra Edición, 799-800.
37. LOHMAN FRED H.; NORTEMAN WILLIAM E.; Determination of Primary and Second Aliphatic Amines by Near-Infrared Spectrophotometry, 1963, 35 (6), 709-710.
38. PAZ SENEN, LOPEZ ARTURO, VARELA MONTSE, PAZOS MERCEDES, Polymer communications, 1997, 38, 3118.
39. MUÑOZ RONALD, Evaluación de Propiedades Mecánicas y Resistencia a la Corrosión en Recubrimientos Basados en Nanocompuestos Bio-Epóxicas, 2014, 24.
40. MACAS ANGEL, Evaluación de Propiedades Mecánicas y Resistencia a la Corrosión en Recubrimientos Basados en Nanocompuestos Bio-Epóxicas, 2014, 24.