



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

**“Evaluación de Propiedades Mecánicas y Resistencia a la  
Corrosión en Recubrimientos Basados en Nanocompuestos  
Bio-Epóxicos”**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

(Proyecto de Graduación)

Previo a la obtención de Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Ronald Mauricio Muñoz Suárez

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2014

## **AGRADECIMIENTO**

Este proyecto de graduación es el resultado de mi esfuerzo en el transcurso de su realización. Por eso agradezco a mi director de tesis Msc. Andrés Rigail quien a lo largo de este tiempo me ha brindado su apoyo para el desarrollo del proyecto el cual he finalizado llenando todas mis expectativas. A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades. Al personal del LEMAT que me facilito los equipos para la culminación de este trabajo.

**Ronald Muñoz Suárez**

## DEDICATORIA

A Dios, porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mi esposa Yadira Charcopa y a mi hijo Santiago Muñoz Charcopa, para ustedes todo mi esfuerzo y dedicación.

**Ronald Muñoz Suárez**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

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

---

Ing. Andrés Rigail C.  
DIRECTOR DEL TFC

---

Ing. Rodrigo Perugachi B.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este 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)

---

Ronald Mauricio Muñoz Suárez

## RESUMEN

En estos momentos la tecnología de los recubrimientos está avanzando muy rápidamente dando paso a investigaciones a nivel nano. En el presente proyecto de grado se hizo el uso de dicha tecnología para mejorar las propiedades de los recubrimientos con características mecánicas y anticorrosivas superiores a los del compuesto convencional.

Sabiendo que la nanoarcilla es uno de los más ampliamente aceptado y efectivo, se utilizó en este proyecto de grado la Cloisite 93A donde fue tratada con un inhibidor volátil de corrosión como el carboxilato de amina RM210 que tiene la función principal de proteger el acero contra la corrosión. Se fabricaron mezclas con la resina epóxica GE-60, agentes curadores como jeffamine EDR148, jeffamine EDR176, jeffamine D230, jeffamine T403, TETA, TEPA y un porcentaje del 5% de nanoarcilla a una concentración del 1% de inhibidor RM210. Todos estos nanocompuestos se curaron a una temperatura de 30°C o ambiente con un rango de humedad baja en el cuarto durante 7 días.

Los nanocompuestos realizados fueron sometidos a diferentes ensayos: cámara de niebla salina donde se analizó la resistencia a la corrosión de cada recubrimiento, adherencia en placas observando el porcentaje de área removida y rayado analizando la dureza de los nanocompuestos. Además se

realizaron un ensayo de tensión mecánica obteniendo los esfuerzos, deformación y módulo de elasticidad, ensayo en medio corrosivo observando el estado de corrosión de placas y finalmente un ensayo de microscopía óptica determinando la dispersión de las organoarcillas en la matriz polimérica.

Los resultados mostraron que el ensayo de corrosión en una cámara salina durante 168 horas, los nanocompuestos fabricados con GE60/D230/C93A y GE60/T403/C93A con una concentración del 5% de C93A son los más eficientes en resistencia a la corrosión donde ambos recubrimientos tuvieron una durabilidad aproximadamente de 144 horas y el resto de esta clase se observó poca durabilidad. Mientras que los nanocompuestos puros GE60/EDR148 y demás no son recomendables debido a su poca durabilidad de 48 horas. Los recubrimientos con una concentración del 1% de inhibidor GE60/D230/C93A/RM210 y GE60/T403/C93A/RM210 alcanzaron una resistencia de aproximadamente 120 horas y los demás recubrimientos poca durabilidad.

El análisis de adherencia de los nanocompuestos sobre las placas se observó que el área removida incrementó totalmente en un porcentaje mayor al 65% en las mezclas puras y con arcilla/inhibidor. Los recubrimientos GE60/D230/C93A y GE60/T403/C93A tienden a tener una excelente

adherencia de hasta el 0% y 45% donde se concluye que agregando C93A a estas no se verán afectadas por la presencia de la nanoarcilla mientras que arcilla e inhibidor juntas ocurre lo contrario afectando las propiedades de adherencia totalmente.

El ensayo de dureza demostró el aumento de la resistencia que adquiere el recubrimiento al presentar nanocompuestos ya que el compuesto epóxica/amina mantienen una dureza de hasta 6 H, mientras que compuestos con Inhibidor y con C93A en las concentraciones estudiadas aumentaron su dureza hasta mayor a 6 H. Los nanocompuestos que tienen mayor dureza son GE60/D230/C93A y GE60/T403/C93A lo que concluye que estos recubrimientos son los mejores para el estudio de la corrosión.

El ensayo de tensión mecánica se analizó la variación del módulo de Young de cada uno de los compuestos con el fin de conocer los efectos que tiene la organoarcilla dentro de la matriz polimérica. El nanocompuesto con mejor módulo de Young es GE60/T403/C93A que hizo más rígido a la matriz epóxica.

El análisis en medio corrosivo de las placas sometidas a diferentes componentes como: inhibidor (0,5 gr), inhibidor/arcilla está a proporciones de

(5% C93A,10% C93A,20% C93A) y una de control (sin nada) se observó que el inhibidor puro no muestra mucha resistencia a la corrosión en la placa así como la mezcla arcilla/inhibidor en una proporción 5% C93A de 0,5 gr RM210, mientras que el resto no mejora la resistencia a la corrosión de la placa y se concluye que el inhibidor en poca proporción no provoca ningún apoyo a la corrosión.

En el ensayo de microscopia óptica mostro que el nanocompuesto GE60/T403/C93A tiene una buena dispersión de la arcilla por ende se comprueba su elevado módulo de elasticidad.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ABREVIATURAS.....	IX
SIMBOLOGÍA.....	X
INDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	2
1.1 Antecedentes y Justificación.....	4
1.2 Planteamiento del Problema.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivos Generales.....	7
1.3.2. Objetivos Específicos.....	7
1.4 Metodología Utilizada.....	7
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	9
2.1 Corrosión.....	9

2.1.1. Importancia.....	11
2.1.2. Corrosión del Acero.....	12
2.1.3. Métodos de Análisis Corrosivos.....	14
2.2 Teoría de Arcillas y Nanoarcillas.....	18
2.3 Teoría de Grupo Amino y Resinas Epóxicas.....	32
2.4 Inhibidores Volátiles de Corrosión.....	44
2.5 Nanocompuestos de Resinas Epóxicas y Nanoarcillas.....	49

### **CAPÍTULO 3**

3. PARTE EXPERIMENTAL.....	59
3.1 Materiales, Equipos y Accesorios.....	59
3.2 Procedimiento para Preparación de Placas Metálicas.....	83
3.3 Procedimiento para la Obtención de Nanocompuestos de Resinas Epóxicas y Nanoarcillas.....	86
3.3.1. Mezclado de Arcilla con Inhibidor Carboxilato de Amina....	88
3.3.2. Preparación del Nanocompuesto.....	93
3.4 Ensayos y Pruebas a realizarse.....	103
3.4.1. Ensayo de Corrosión en Cámara Salina según Norma ASTM B 117.....	116
3.4.2. Ensayo de Adherencia según Norma ASTM D 3359.....	124
3.4.3. Ensayo de Dureza según Norma ASTM D 1474.....	128
3.4.4. Ensayo de Tensión Mecánica según Norma ASTM D 882129	

3.4.5. Ensayo en Medio Corrosivo con Ciclo de Humedad.....	132
3.4.6. Ensayo de Dispersión en Film usando Microscopio Óptico Polarizado.....	138

## **CAPÍTULO 4**

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	140
4.1 Ensayo de Corrosión en Cámara Salina ASTM B 117.....	140
4.2 Ensayo de Adherencia ASTM D 3359.....	174
4.3 Ensayo de Dureza ASTM D 1474.....	183
4.4 Ensayo de Tensión Mecánica.....	189
4.5 Ensayo en Medio Corrosivo.....	200
4.6 Ensayo de Microscopia Óptica.....	214

## **CAPÍTULO 5**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	225
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

ASTM	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales
CEC	Capacidad de Intercambio de Carga
OH	Grupo Oxidrilo
phr	Partes por ciento de resina
GE60	Resina Epóxica
EDR148	Agente Curador o Amina Alifática
EDR176	Agente Curador o Amina Alifática
D230	Agente Curador o Amina Alifática
T403	Agente Curador o Amina Alifática
TETA	Agente Curador Triethylenepentamine
TEPA	Agente Curador Tetraethylenepentamine
RM210	Inhibidor de Corrosión o Carboxilato de Amino
C93A	Cloisite 93A
meq	Miliequivalentes
EEW	Peso Equivalente del Epóxico
AHEW	Peso Equivalente Hidrógeno Activo
SEM	Microscopio Electrónico de Barrido

## SIMBOLOGÍA

Cl	Cloro
H	Hidrógeno
Na	Sodio
NH <sub>3</sub>	Iones Alquil-amonio Ternario
NH <sub>4</sub>	Iones Alquil-amonio Cuaternario
O	Oxígeno
HCl	Cloruro de Hidrógeno
NaCl	Cloruro de Sodio
μ	Micras
mm	Milímetros
cm	Centímetro
Mils	Milésima de Pulgadas
gr	Gramos
N/mm <sup>2</sup>	Newton por Milímetros al cuadrado
° C	Grados Centígrados
%	Porcentaje

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1	Esquema de la Corrosión de un Metal.....	10
Figura 2.2	Probeta Metálica evaluada con Recubrimiento Anticorrosivo mediante Normas.....	12
Figura 2.3	Proceso de Corrosión.....	14
Figura 2.4	Métodos de Control de Corrosión.....	15
Figura 2.5	Representación Esquemática de la Capa Tetraédrica (Superior) y Octaédrica (inferior).....	19
Figura 2.6	Estructura de la Montmorillonita.....	22
Figura 2.7	Proceso de Intercambio Catiónico de Iones Alquil-Amonios por Cationes Inorgánicos presente entre las Láminas de la Arcilla.....	25
Figura 2.8	Proceso de Transformación de la Arcilla a Organoarcilla mediante Tratamiento Superficial.....	29
Figura 2.9	Estructura Química Cloisite 20A.....	30
Figura 2.10	Estructura Química Cloisite 30B.....	31
Figura 2.11	Estructura Química Cloisite 93A.....	32
Figura 2.12	Grupos Aminos.....	33
Figura 2.13	Estructura Química EDR-148.....	36
Figura 2.14	Estructura Química EDR-176.....	36
Figura 2.15	Estructura Química D-230.....	37
Figura 2.16	Estructura Química T-403.....	38
Figura 2.17	Estructura Química TETA.....	39
Figura 2.18	Estructura Química TEPA.....	39
Figura 2.19	Grupo Epoxi u Oxiriano.....	40
Figura 2.20	Reacción entre Bisfenol A y Epiclorhidrina para formar la Resina Epóxica.....	41
Figura 2.21	Estructura Química GE-60.....	44
Figura 2.22	Estructura del Carboxilato de Amino.....	49
Figura 2.23	Nanocompuesto Epóxico/Arcilla.....	50
Figura 2.24	Proceso de Mezclado en Disolución.....	53
Figura 2.25	Mezclado en Fundición.....	54
Figura 2.26	Proceso de Polimerización In-Situ.....	55
Figura 2.27	Tipos de Dispersión de la Nanoarcilla en la Matriz Polimérica.....	57

Figura 3.1	Cloisite 93A.....	60
Figura 3.2	Resina GE-60.....	60
Figura 3.3	Jeffamine EDR-148.....	61
Figura 3.4	Jeffamine EDR-176.....	61
Figura 3.5	Jeffamine D-230.....	62
Figura 3.6	Jeffamine T-403.....	62
Figura 3.7	TETA Triethylenepentamine.....	63
Figura 3.8	TEPA Tetraethylenepentamine.....	63
Figura 3.9	Inhibidor RM-210.....	64
Figura 3.10	Desecante Gel de Sílice.....	64
Figura 3.11	Acetona.....	65
Figura 3.12	Desoxidante.....	65
Figura 3.13	Agua Destilada.....	66
Figura 3.14	Placa de Acero de Bajo Carbono.....	66
Figura 3.15	Placa de Acero Estandarizada.....	67
Figura 3.16	Cloruro de Sodio.....	67
Figura 3.17	Deshumificador.....	68
Figura 3.18	Balanza Analítica.....	69
Figura 3.19	Higrómetro.....	69
Figura 3.20	Mezclador DAC 400.1 FVZ.....	70
Figura 3.21	Desecador.....	71
Figura 3.22	Horno Universal.....	71
Figura 3.23	Troquel RAY-RAN.....	72
Figura 3.24	Equipo de Vacío.....	73
Figura 3.25	Aplicador de Películas.....	74
Figura 3.26	Equipo de Prueba de Adherencia.....	75
Figura 3.27	Equipo de Ensayo de Dureza.....	75
Figura 3.28	Equipo de Tensión.....	76
Figura 3.29	Cámara Salina.....	77
Figura 3.30	Guantes.....	77
Figura 3.31	Mascarilla.....	78
Figura 3.32	Paños de Limpieza.....	78
Figura 3.33	Envase para Mezclas.....	79
Figura 3.34	Envases para Almacenamiento.....	79
Figura 3.35	Espatulas.....	80
Figura 3.36	Pinzas.....	80
Figura 3.37	Estilete.....	81
Figura 3.38	Brujita.....	81

Figura 3.39	Lija.....	82
Figura 3.40	Cinta.....	82
Figura 3.41	Secadora.....	83
Figura 3.42	Placa Oxidada.....	84
Figura 3.43	Placas en Solución Desoxidante.....	84
Figura 3.44	Lijado Superficial.....	85
Figura 3.45	Acabado Superficial.....	86
Figura 3.46	Arcilla e Inhibidor de Corrosión.....	88
Figura 3.47	Medición de la Arcilla.....	90
Figura 3.48	Medición del Inhibidor.....	91
Figura 3.49	Arcilla e Inhibidor Juntos.....	91
Figura 3.50	Concentración Arcilla e Inhibidor en el Horno.....	92
Figura 3.51	Mezclado de la Arcilla e Inhibidor.....	92
Figura 3.52	Mezcla de Arcilla e Inhibidor Listo.....	93
Figura 3.53	Procedimiento de Obtención del Compuesto Convencional.....	96
Figura 3.54	Procedimiento de Obtención del Nanocompuesto con Arcilla.....	99
Figura 3.55	Procedimiento de Obtención del Nanocompuesto con Arcilla e Inhibidor.....	102
Figura 3.56	Placa de Acero Lista.....	104
Figura 3.57	Nanocompuesto Elaborado.....	105
Figura 3.58	Aplicación del Nanocompuesto.....	105
Figura 3.59	Film Preparado en la Placa.....	106
Figura 3.60	Probetas Conservadas en Recipiente Cerrado para evitar el Polvo.....	107
Figura 3.61	Probetas Almacenadas para su respectivo Curado....	108
Figura 3.62	Obtención de Molde Plástico.....	110
Figura 3.63	Molde para probetas de Ensayo de Tensión.....	111
Figura 3.64	Preparación de Mezcla de Silicona y Catalizador.....	111
Figura 3.65	Llenado del Molde y Eliminación de Burbujas.....	112
Figura 3.66	Colocación de Molde en el Horno.....	113
Figura 3.67	Molde para Probetas de Ensayo de Tensión.....	113
Figura 3.68	Probetas para Ensayo de Tensión.....	114
Figura 3.69	Procedimiento para Obtención de Probetas Circulares.....	115
Figura 3.70	Función de Cámara Salina.....	117
Figura 3.71	Componentes para Fabricar Solución Salina.....	118

Figura 3.72	Preparación de Solución Salina.....	119
Figura 3.73	Equipo de Ensayo de Corrosión.....	120
Figura 3.74	Placas Cubiertas los Bordes.....	120
Figura 3.75	Llenado del Reservorio.....	121
Figura 3.76	Probeta con Raya y sin Raya.....	122
Figura 3.77	Colocación de Probetas.....	122
Figura 3.78	Arranque del Ensayo de Corrosión.....	123
Figura 3.79	Ensayo de Adherencia.....	126
Figura 3.80	Ensayo de Dureza.....	129
Figura 3.81	Ensayo de Tensión Mecánica.....	132
Figura 3.82	Lijado de Placas Rectangulares.....	133
Figura 3.83	Limpieza y Almacenamiento de Placas Rectangulares.....	134
Figura 3.84	Pesado de Concentraciones.....	134
Figura 3.85	Colocación de Placas en Fundas Plásticas.....	135
Figura 3.86	Colocación de Probetas a Ensayarse en Medio Corrosivo.....	136
Figura 3.87	Muestras para Ensayo en Medio Corrosivo.....	137
Figura 3.88	Lijado de Probetas Circulares.....	138
Figura 3.89	Pulido de Probetas Circulares.....	139
Figura 4.1	Posición de las Placas.....	141
Figura 4.2	Ensayo de Corrosión de GE60/EDR148.....	142
Figura 4.3	Ensayo de Corrosión de GE60/EDR176.....	143
Figura 4.4	Ensayo de Corrosión de GE60/D230.....	144
Figura 4.5	Ensayo de Corrosión de GE60/T403.....	145
Figura 4.6	Ensayo de Corrosión de GE60/TETA.....	146
Figura 4.7	Ensayo de Corrosión de GE60/TEPA.....	147
Figura 4.8	Ensayo de Corrosión de GE60/EDR148/C93A.....	149
Figura 4.9	Ensayo de Corrosión de GE60/EDR176/C93A.....	150
Figura 4.10	Ensayo de Corrosión de GE60/D230/C93A.....	151
Figura 4.11	Ensayo de Corrosión de GE60/T403/C93A.....	152
Figura 4.12	Ensayo de Corrosión de GE60/TETA/C93A.....	153
Figura 4.13	Ensayo de Corrosión de GE60/TEPA/C93A.....	154
Figura 4.14	Ensayo de Corrosión de GE60/EDR148/C93A/RM210.....	155
Figura 4.15	Ensayo de Corrosión de GE60/EDR176/C93A/RM210.....	156
Figura 4.16	Ensayo de Corrosión de GE60/D230/C93A/ RM210...	157

Figura 4.17	Ensayo de Corrosión de GE60/T403/C93A/ RM210....	158
Figura 4.18	Ensayo de Corrosión de GE60/TETA/C93A/ RM210...	159
Figura 4.19	Ensayo de Corrosión de GE60/TEPA/C93A/ RM210...	160
Figura 4.20	Placa P1 (Izquierda) y P2 (Derecha) de Compuesto Convencional.....	161
Figura 4.21	Nanocompuesto con Arcilla con Espesor $\pm 2$ mils.....	162
Figura 4.22	Nanocompuesto GE60/D230/C93A con Espesor $\pm 1$ mils.....	163
Figura 4.23	Nanocompuesto GE60/T403/C93A con Espesor $\pm 1$ mils.....	163
Figura 4.24	Nanocompuesto con Arcilla e Inhibidor con Espesor $\pm 2$ mils.....	164
Figura 4.25	Nanocompuestos GE60/D230/C93A/RM210 y GE60/T403/C93A/RM210 con Espesor $\pm 1$ mils.....	165
Figura 4.26	Resistencia a la Corrosión de Compuestos Convencionales y Nanocompuestos.....	167
Figura 4.27	Placas Estandarizadas con Recubrimiento Convencional y Nanocompuestos a Ensayarse.....	169
Figura 4.28	Resistencia a la Corrosión a 1 hora.....	169
Figura 4.29	Resistencia a la Corrosión a las 2 horas.....	170
Figura 4.30	Resistencia a la Corrosión a las 3 horas.....	171
Figura 4.31	Resistencia a la Corrosión a las 4 horas.....	171
Figura 4.32	Resistencia a la Corrosión a las 5 horas.....	172
Figura 4.33	Resistencia a la Corrosión a las 8 horas.....	173
Figura 4.34	Proceso de Adherencia de Nanocompuestos.....	174
Figura 4.35	Adherencia de Compuestos Convencionales.....	176
Figura 4.36	Adherencia de Nanocompuestos con Arcilla.....	178
Figura 4.37	Adherencia de Nanocompuestos con Arcilla e Inhibidor.....	180
Figura 4.38	Prueba de Adherencia de Compuestos Convencionales y Nanocompuestos.....	183
Figura 4.39	Obtención de la Dureza de los Compuestos Convencionales y Nanocompuestos.....	184
Figura 4.40	Valores de Dureza de Compuestos Convencionales y Nanocompuestos.....	188
Figura 4.41	Esfuerzo vs Deformación del Compuesto GE60/D230.....	191
Figura 4.42	Esfuerzo vs Deformación del Compuesto	

	GE60/T403.....	192
Figura 4.43	Esfuerzo vs Deformación del Nanocompuesto GE60/D230/C93A.....	194
Figura 4.44	Esfuerzo vs Deformación del Nanocompuesto GE60/T403/C93A.....	195
Figura 4.45	Esfuerzos vs Deformaciones Promedios de Compuestos Convencionales y Nanocompuestos.....	197
Figura 4.46	Módulos Elásticos Promedios de Compuestos Convencionales y Nanocompuestos.....	199
Figura 4.47	Propagación de Corrosión en Placa de Control 1.....	201
Figura 4.48	Propagación de Corrosión en Placa de Control 2.....	202
Figura 4.49	Propagación de Corrosión en Placa con Inhibidor Control 1.....	203
Figura 4.50	Propagación de Corrosión en Placa con Inhibidor Control 2.....	204
Figura 4.51	Propagación de Corrosión en Placa con 5% C93A de 0,5 gr RM210 Control 1.....	205
Figura 4.52	Propagación de Corrosión en Placa con 5% C93A de 0,5 gr RM210 Control 2.....	206
Figura 4.53	Propagación de Corrosión en Placa con 10% C93A de 0,5 gr RM210 Control 1.....	207
Figura 4.54	Propagación de Corrosión en Placa con 10% C93A de 0,5 gr RM210 Control 2.....	208
Figura 4.55	Propagación de Corrosión en Placa con 20% C93A de 0,5 gr RM210 Control 1.....	209
Figura 4.56	Propagación de Corrosión en Placa con 20% C93A de 0,5 gr RM210 Control 2.....	210
Figura 4.57	Inmersión de Agua Salina dentro de la Funda Plástica.....	211
Figura 4.58	Microscopia Óptica del Compuesto GE60/D230.....	215
Figura 4.59	Microscopia Óptica del Nanocompuesto GE60/D230/C93A.....	215
Figura 4.60	Microscopio Electrónico de Barrido.....	217
Figura 4.61	Equipo de Recubrimiento de Platino.....	218
Figura 4.62	Puesta de Muestra en el Microscopio.....	218
Figura 4.63	GE60/D230 con Magnificación 465X y 2356X.....	219
Figura 4.64	GE60/T403 con Magnificación 500X y 4077X.....	220
Figura 4.65	GE60/D230/C93A con Magnificación 1047X.....	221

Figura 4.66	GE60/D230/C93A con Magnificación 2347X.....	222
Figura 4.67	GE60/T403/C93A con Magnificación 1041X.....	223
Figura 4.68	GE60/T03/C93A con Magnificación 2516X.....	224

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	CEC de diferentes Materiales Arcillosos.....	20
Tabla 2	Propiedades de la Montmorillonita.....	23
Tabla 3	Propiedades de Microcompuestos y Nanocompuestos..	51
Tabla 4	Patrón de Resina Epóxica.....	89
Tabla 5	Preparaciones de Resina Epóxica y Amina.....	95
Tabla 6	Mezclas Convencionales a Realizar.....	97
Tabla 7	Concentraciones de Resina, Amina y Arcilla.....	98
Tabla 8	Nanocompuestos con Arcilla a Realizarse.....	100
Tabla 9	Concentraciones de Resina, Amina, Arcilla e Inhibidor..	101
Tabla 10	Nanocompuestos con Arcilla e Inhibidor a Realizar.....	103
Tabla 11	Distribución de Probetas para Ensayos.....	109
Tabla 12	Clasificación de Resultados de Ensayo de Adherencia..	127
Tabla 13	Concentraciones de Ensayo en Medio Corrosivo.....	137
Tabla 14	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/EDR148.....	142
Tabla 15	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/EDR176.....	143
Tabla 16	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/D230.....	144
Tabla 17	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/T403.....	145
Tabla 18	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/TETA.....	146
Tabla 19	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/TEPA.....	147
Tabla 20	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ EDR148/C93A.....	148
Tabla 21	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ EDR176/C93A.....	149
Tabla 22	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ D230/C93A.....	150
Tabla 23	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ T403/C93A.....	152
Tabla 24	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ TETA/C93A.....	153
Tabla 25	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ TEPA/C93A.....	154
Tabla 26	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ EDR148/C93A/RM210.....	155
Tabla 27	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ EDR176/C93A/RM210.....	156

Tabla 28	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ D230/C93A/RM210.....	157
Tabla 29	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ T403/C93A/RM210.....	158
Tabla 30	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ TETA/C93A/RM210.....	159
Tabla 31	Valores de Ensayo de Corrosión de GE60/ TEPA/C93A/RM210.....	160
Tabla 32	Resistencia a la Corrosión de Compuestos Convencionales y Nanocompuestos.....	166
Tabla 33	Adherencia de Compuestos Convencionales.....	175
Tabla 34	Adherencia de Nanocompuestos con Arcilla.....	177
Tabla 35	Adherencia de Nanocompuestos con Arcilla e Inhibidor.....	179
Tabla 36	Dureza de Compuestos Convencionales.....	184
Tabla 37	Dureza de Nanocompuestos con Arcilla.....	185
Tabla 38	Dureza de Nanocompuestos con Arcilla e Inhibidor.....	186
Tabla 39	Propiedades Mecánicas del Compuesto Convencional GE60/D230.....	190
Tabla 40	Propiedades Mecánicas del Compuesto Convencional GE60/T403.....	191
Tabla 41	Propiedades Mecánicas del Nanocompuesto GE60/D230/C93A.....	193
Tabla 42	Propiedades Mecánicas del Nanocompuesto GE60/T403/C93A.....	194
Tabla 43	Propiedades Mecánicas y Desviaciones Estándar Promedios de Compuestos Convencionales y Nanocompuestos.....	196
Tabla 44	Módulos Elásticos y Desviaciones Estándar Promedios de Compuestos Convencionales y Nanocompuestos.....	198
Tabla 45	Presencia de Corrosión en Placa de Control 1.....	201
Tabla 46	Presencia de Corrosión en Placa de Control 2.....	202
Tabla 47	Presencia de Corrosión en Placa con Inhibidor Control 1.....	203
Tabla 48	Presencia de Corrosión en Placa con Inhibidor Control 2.....	204
Tabla 49	Presencia en Corrosión en Placa con 5% C93A de 0,5 gr RM210 Control 1.....	205
Tabla 50	Presencia de Corrosión en Placa con 5% C93A de 0,5	206

	gr RM210 Control 2.....	
Tabla 51	Presencia de Corrosión en Placa con 10% C93A de 0,5 gr RM210 Control 1.....	207
Tabla 52	Presencia de Corrosión en Placa con 10% C93A de 0,5 gr RM210 Control 2.....	208
Tabla 53	Presencia de Corrosión en Placa con 20% C93A de 0,5 gr RM210 Control 1.....	209
Tabla 54	Presencia de Corrosión en Placa con 20% C93A de 0,5 gr RM210 Control 2.....	210

## INTRODUCCIÓN

La corrosión está presente en prácticamente en todos los sectores donde su control es muy importante, pero también está presente en la vida cotidiana ya que se trata de un proceso que afecta a todos los metales. En la actualidad hay investigaciones a nivel nano dando el uso de esta tecnología para mejorar el rendimiento de anticorrosivos. En investigaciones anteriores se ha analizado propiedades mecánicas y térmicas de nanocompuestos, pero la necesidad de evaluar la corrosión directamente en placas metálicas con estos recubrimientos.

El presente proyecto de graduación consiste en mejorar las propiedades de los nanocompuestos de resinas epóxicas con organoarcilla y con un inhibidor volátil de corrosión a manera de cargas mejorando de esta manera la resistencia mecánica, dureza y resistencia a la corrosión en ambiente salino, ya que se saben que las organoarcillas mejoran las propiedades de barrera si se encuentran correctamente dispersas en la matriz polimérica.

Para la elaboración de los nanocompuestos se basa en procedimientos descritos en la literatura y para probarlos se usa normas ASTM referentes a las propiedades a ser evaluadas.

# CAPÍTULO 1

## 1. INFORMACION GENERAL

Una de las definiciones más estudiadas de la corrosión es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. Para evitar este fenómeno se ha hecho el uso de la nanotecnología que ofrece un enorme rango de aplicaciones potenciales [1].

La aplicación de la nanotecnología a materiales y compuestos no ha sido la excepción, así ha dado lugar a los nanocompuestos, materiales en los cuales las partículas agregadas tienen tamaño de  $10^{-9}$  m. Aunque en un principio los costos del procesamiento de nanopolímeros para pinturas restringían su uso, hoy son muchas las aplicaciones que se han desarrollado, incluso en América Latina [2].

Un nanocompuesto tiene dos o más fases y una de ellas deberá estar en escala nanométrica (arcilla). Originalmente las arcillas vienen en pequeñas partículas que se llaman tactoides estas son como un pequeño libro que se conforma de varias hojitas, cada hojita tiene el espesor de un nanómetro. Lo ideal en un nanocompuesto es poder separar cada una de esas hojitas, distribuir las y dispersarlas a través de la matriz polimérica. Además, los grupos funcionales que se intercalan en la arcilla deben ser compatibles con el polímero para lograr buena dispersión [3].

Las arcillas se han utilizado a través del tiempo como sistemas adsorbentes por su alta área superficial específica y su capacidad de adsorción de moléculas orgánicas que son solubles en agua, polares o de actividad catiónica baja, definiendo así su naturaleza hidrofílica. Los sistemas arcilla-polímero consisten en capas de silicatos, tales como montmorillonitas, de uno a pocos nanómetros de espesor y de cientos a miles de nanómetros de longitud. Precisamente son estos últimos, nanocompuestos a base de polímero y silicatos laminados, conocidos como arcilla-nanocompuestos, los que han atraído la atención a causa de sus sorprendentes propiedades mecánicas y térmicas con respecto a polímeros puros y materiales compuestos con relleno convencional.

Éstos se encuentran en función de la organización de las láminas en la matriz polimérica, formando así diferentes tipos de morfología: intercalados, exfoliados o ambos parcialmente. La morfología o estructura de los nanocompuestos depende no sólo de la compatibilidad entre la fase orgánica e inorgánica sino del método de mezclado y de su dispersión. Generalmente, se ha encontrado que los nanocompuestos poliméricos dan origen a materiales cuyas propiedades físicas han demostrado ser muy superiores al compuesto convencional [4].

### **1.1 Antecedentes y Justificación**

En la zona costera del país existe la complicación que diferentes materiales están expuestos a un nivel salino muy alto lo que produce que estos se corroen fácilmente llegando a la hipótesis de crear un recubrimiento anticorrosivo o nanocompuesto óptimo para disminuir la presencia de corrosión, donde es la parte principal de este proyecto de graduación.

En la actualidad hay investigaciones que indican que el uso de organoarcillas mejoran las propiedades de los materiales en el desarrollo de nanocompuestos. Además el inhibidores de corrosión se intercala entre las capas en las arcillas comerciales, obteniendo

un incremento en el espacio basal, lo que indica un mejoramiento entre la resina epóxica y la organoarcilla [5].

Uno de los sistemas nanocompuestos que ha despertado mayor interés en los últimos años es el formado por polímeros y partículas laminares. Desde que en 1988 el grupo de Toyota desarrollara los primeros nanocompuestos de polímeros con arcilla, en los que, con pequeñas cantidades del compuesto inorgánico, se obtenía una sustancial mejora de las propiedades. En general, las investigaciones llevadas a cabo hasta la fecha muestran como las propiedades de un nanocompuesto son superiores que la de un convencional [6].

El siguiente proyecto de graduación será de gran importancia debido a la falta de investigaciones que existe en el país sobre recubrimientos anticorrosivos con mayor prevención a la corrosión. El propósito es desarrollar un nanocompuesto basado en bio-resinas epóxicas multifuncionales y organoarcillas compatibles. Adicionalmente se incorporará un inhibidor volátil de corrosión como un medio de protección contra la corrosión.

## 1.2 Planteamiento del Problema

La problemática que presenta en el país el proceso de deterioro del acero conocido como corrosión, es sin duda de gran relevancia ya que se trata de un proceso natural inevitable. La corrosión representa el pago que el hombre asume al transformar minerales en metales útiles para su uso cotidiano.

El problema se agudiza desde luego en zonas donde se tienen ambientes agresivos, donde los materiales son sujetos a condiciones de ataque mayor, tal es el caso en zonas marinas o de lugares donde los contaminantes atmosféricos abundan.

Ante tal problemática ha sido necesario el desarrollo de un sistema óptico de nanocompuesto de resina-amina-arcilla-inhibidor contra la corrosión simulado en un ambiente salino. Adicionalmente, determinar la adherencia en placas de acero.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivos Generales**

- Determinar el sistema óptimo de adherencia y resistencia a la corrosión de barrera en nanocompuestos de pinturas epóxicas y aminas.
- Desarrollar un nanocompuesto con mayor durabilidad que el compuesto convencional y que su preparación sea adaptable para fines industriales.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Comparar sus propiedades mecánicas mediante el ensayo de tensión bajo la norma ASTM D 882.
- Analizar el grado de adherencia bajo la norma ASTM D 3359 y su relación con la corrosión en test de cámara salina ASTM B 117.

## **1.4 Metodología Utilizada**

Se analiza el sistema bio-epóxico y amina alifática de mejor rendimiento en conjunto con organoarcillas e inhibidores volátiles de corrosión. El sistema epóxico-amina-arcilla-inhibidor debe tener 7

días de curado a temperatura ambiente para su correspondiente análisis.

- Se prepara mezclas epóxica-amina incluyendo 5 % de arcilla y 1 % de inhibidor, se aplicara mediante aplicador sobre placas previamente preparadas bajo preparación abrasiva y placas estandarizadas.
- Se aplicara y se someterá a ensayo de adherencia ASTM D 3359.
- Adicionalmente se aplicará en las placas para determinar la resistencia a la corrosión bajo norma ASTM B 117.
- Por último se aplicará ensayo de tensión según norma ASTM D 882 para determinar su propiedad mecánica.

# CAPÍTULO 2

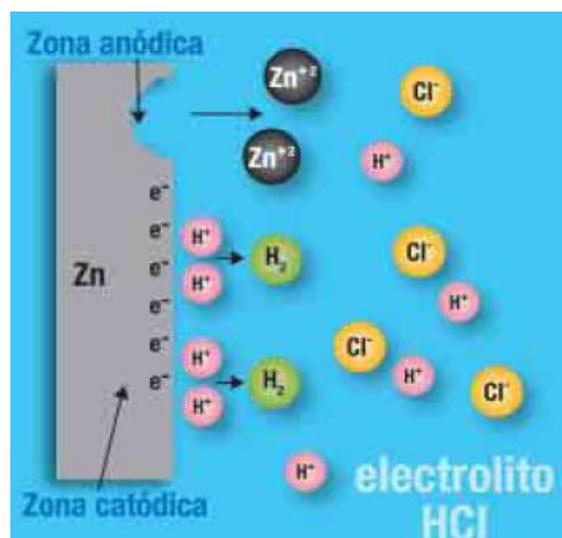
## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

### 2.1. Corrosión

Se define la corrosión, en general como la destrucción lenta y progresiva de un metal por la acción de un agente exterior. Uno de los factores que limitan la vida de las piezas metálicas en servicio es el ataque químico o físico-químico que sufren en el medio que los rodea. Para efectos prácticos, es casi imposible eliminar la corrosión y el secreto efectivo de la ingeniería en este campo radica más en su control, que en su eliminación siendo necesario tomar en cuenta el fenómeno corrosivo desde el diseño de instalaciones y no después de ponerlas en operación [7].

La corrosión afecta desde el punto de vista de presentación, así como también, desde el punto de vista estructural, en la construcción de piezas, equipos y maquinaria, cuyos esfuerzos a los que son sometidos pueden en determinado momento representar un riesgo y ser causa de destrucción, accidentes y en fin pérdida de todo tipo de recursos invertidos [8].

El mecanismo de la corrosión puede ilustrarse a través de un material metálico inmerso en una solución de HCl. En el caso del zinc, los átomos metálicos del Zn ceden electrones convirtiéndose en cationes ( $Zn^{++}$ ) mientras que los iones  $H^+$  aceptan estos electrones formando moléculas de  $H_2$  [9]. Ver figura 2.1.



**FIGURA 2.1. ESQUEMA DE LA CORROSIÓN DE UN METAL.**  
[9]

### **2.1.1 Importancia**

La corrosión es un fenómeno espontáneo que se presenta prácticamente en todos los materiales procesados por el hombre. La industria de la corrosión, si por ello se entiende todos los recursos destinados a estudiarla y prevenirla, mueve anualmente miles de millones de dólares. Este fenómeno tiene implicaciones industriales muy importantes; la degradación de los materiales provoca interrupciones en actividades fabriles, pérdida de productos, contaminación ambiental, reducción en la eficiencia de los procesos, mantenimientos y sobrediseños costosos.

Se estima que los gastos atribuidos a los daños por corrosión representan entre el 3 y 5 por ciento del producto interno bruto de los países industrializados; solamente hablando del acero, de cada diez toneladas fabricadas por año se pierden dos y media por corrosión. Por esta razón, cada día se desarrolla nuevos recubrimientos, se crean nuevos materiales, se sintetizan mejores inhibidores. [9]

La protección superficial de los materiales también se puede alcanzar artificialmente mediante la aplicación de recubrimientos. La deposición de capas metálicas o el uso de pinturas anticorrosivas,

son métodos que prolongan la integridad de los aceros corrientes e incluso la de materiales más resistentes. Es importante destacar el enorme desarrollo en el campo de los recubrimientos orgánicos y la amplia gama de productos disponibles con propiedades y capacidades de protección muy específicas. Ver figura 2.2.



**FIGURA 2.2. PROBETA METÁLICA EVALUADA CON RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO MEDIANTE NORMAS. [9]**

### **2.1.2 Corrosión del Acero**

En la corrosión electroquímica los átomos del metal son oxidados dejando la red del metal como iones, creando un exceso de

electrones en la superficie del metal. Estos electrones pueden ser transferidos a una especie activa en el electrolito produciéndose la reacción de reducción. La reacción de corrosión se conoce como reacción anódica y las áreas del electrodo donde ocurre se les llama ánodos.

La electroneutralidad de la materia exige que en otros puntos, conocidos por cátodos, se reduzca alguna sustancia del medio ambiente en contacto con el material metálico. Las áreas donde ocurre la reacción catódica (de reducción) se denominan cátodos. Ver figura 2.3.

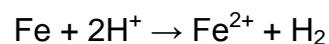
En el caso del acero, la reacción anódica es:



Consecuentemente, una reacción catódica tiene que tener lugar para iniciar y mantener la corrosión metálica. Un ejemplo de reacción catódica es la reducción de protones.



La reacción de corrosión total será la suma de ambas reacciones.



Tanto la reacción anódica como catódica dan lugar a corrientes llamadas anódica y catódica respectivamente y la corriente total suma de ambas es proporcional a la velocidad de corrosión. [10]

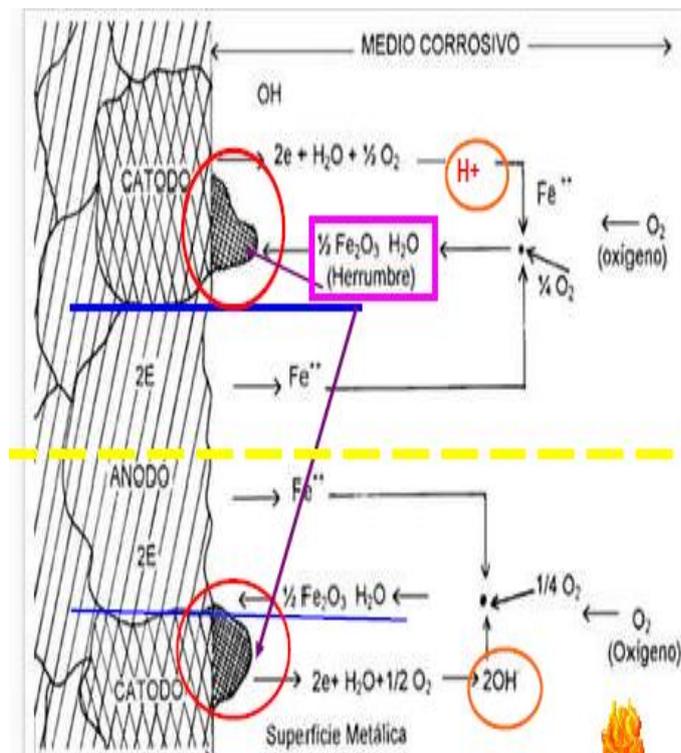


FIGURA 2.3. PROCESO DE CORROSIÓN. [11]

### 2.1.3 Métodos de Análisis Corrosivos

La corrosión puede ser controlada o prevenida por métodos muy diferentes. Desde el punto de vista industrial, los aspectos

económicos de la situación son normalmente los decisivos respecto al método a elegir. Por ejemplo, un Ingeniero debe determinar si es más económico reemplazar periódicamente determinado equipamiento o fabricarlo con materiales que sean altamente resistentes a la corrosión pero más caros, de tal forma que duren más. Algunos de los métodos más comunes de control o prevención de la corrosión se muestran en la Figura 2.4. [12]



**FIGURA 2.4. MÉTODOS DE CONTROL DE CORROSIÓN. [12]**

### **CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE MASA**

La técnica de pérdida de masa es la más ampliamente utilizada en los estudios de corrosión atmosférica, dado que es relativamente

simple y precisa. Esta técnica de inmersiones sucesivas, aunque lenta, además de garantizar la eliminación total de los productos de corrosión permite diferenciar la pérdida de masa del metal debida a la corrosión atmosférica del ataque por la solución específica empleada.

La técnica de inmersiones sucesivas consiste en repetir el procedimiento de limpieza un número de veces. Se registra el peso después de cada limpieza y se grafica la pérdida de masa contra el número de veces de limpieza. El punto de intersección de las dos líneas es la pérdida de masa causada solo por el desplazamiento del producto de corrosión. [13]

Una vez determinada la pérdida de masa, la velocidad de corrosión (CR) se obtiene mediante la ecuación:

$$CR = (K \times W) / (A \times T \times D)$$

donde, K = constante,  $3.45 \times 10^6$

T = tiempo (horas)

A = área (cm<sup>2</sup>)

W = masa perdida (gr)

D = densidad (g/cm<sup>3</sup>)

## EFICIENCIA DEL INHIBIDOR

Los inhibidores son esencialmente catalizadores de retardo. La mayoría de los inhibidores han sido desarrollados por experimentos empíricos y muchos los proporciona la naturaleza. Sus acciones también varían considerablemente. Por ejemplo, los inhibidores tipo absorción son absorbidos por una superficie y forma una película protectora. [12]

La eficiencia del inhibidor es importante para conocer el grado de compenetración en la placa metálica. Además, que tan eficiente es para prevenir la corrosión. [14]

$$IE = [(CR_1 - CR_2) / CR_1] \times 100 \%$$

donde,  $CR_1$  = velocidad de corrosión sin inhibidor.

$CR_2$  = velocidad de corrosión con inhibidor.

## 2.2 Teoría de Arcillas y Nanoarcillas

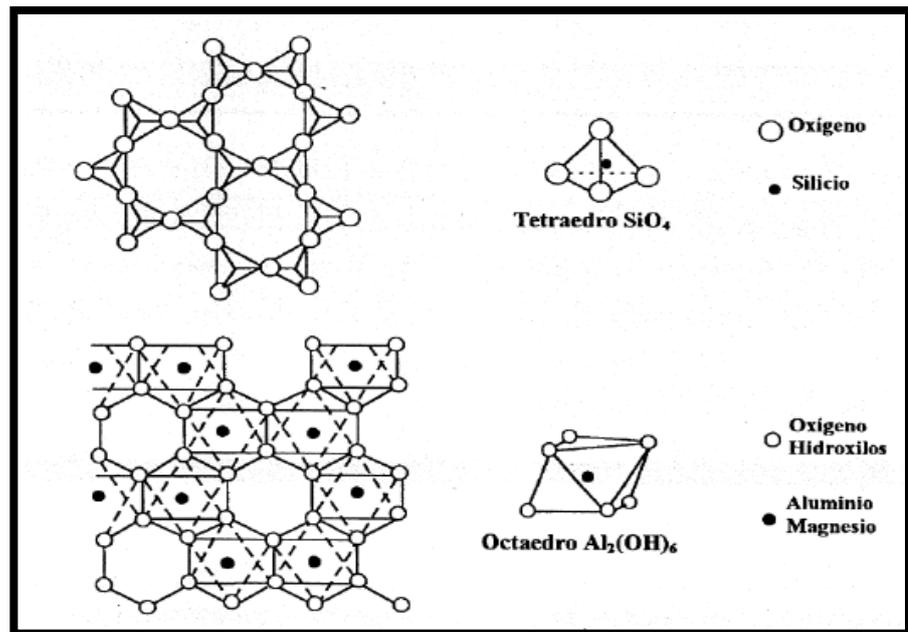
### Arcillas

El término arcilla tiene regularmente diferentes significados [15]:

- Desde el punto de vista mineralógico, se refiere a un grupo de minerales, filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ .
- Desde el punto de vista económico las arcillas son minerales industriales con diferentes características mineralógicas.

La estructura cristalina de los minerales arcillosos está formada principalmente por dos grupos: grupos de sílice tetraédricos y grupos de alúmina octaédricos. Los grupos del mismo tipo están unidos entre sí hexagonalmente formando capas de tetraedros y octaedros (Figura 2.5). Si un mineral de arcilla presenta un empaquetamiento de una capa tetraédrica y una octaédrica se

denomina de tipo 1:1 (bilaminar), mientras que si es de una octaédrica entre dos tetraédricas pasa a denominarse de tipo 2:1 (trilaminar) [16].



**FIGURA 2.5. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA CAPA TETRAÉDRICA (SUPERIOR) Y OCTAÉDRICA (INFERIOR) [16].**

La capacidad de intercambio catiónico (CEC) da una idea cualitativa y cuantitativa de la tendencia del mineral a la intercalación y se define como los miliequivalentes (meq) de cationes intercambiables por 100 g de arcilla. En la siguiente tabla se muestra las CEC de algunos tipos de minerales arcillosos.

TABLA 1

## CEC DE DIFERENTES MINERALES ARCILLOSOS [16].

Mineral Arcilloso	CEC (meq/100g)
Caolinita	5-15
Montmorillonita	80-200
Halloisita	10-40
Vermiculita	100-200
Sepiolita	20-35
Clorita	10-50

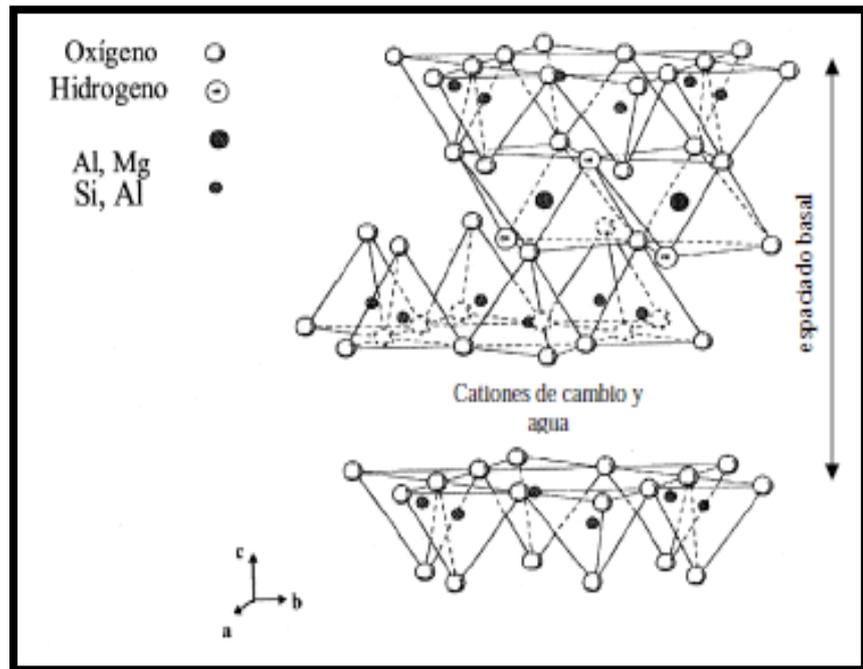
Los silicatos usados para la formación de los nanocompuestos pertenecen a la familia estructural 2:1 filosilicatos. Dentro de este grupo, la arcilla Montmorillonita es la más estudiada en el desarrollo de nanocompuestos debido a la facilidad que presenta para ser modificada por su mecanismo de unión entre laminas consecutivas [17].

### Montmorillonita

La Montmorillonita es una arcilla de filosilicatos trilaminares, cada lámina está formada por dos capas tetraédricas de sílice que encierran una capa de octaedros de alúmina o de magnesia (Figura

2.6). Pertenece a la familia de las Esmectitas o minerales expansibles, su composición química varia por la capacidad de sustitución elemental y de absorción de agua, una composición general es  $\text{Al}_2\text{O}_5 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  [15].

En general, las arcillas expansibles, presentan estructuras que permiten que el agua penetre entre las láminas tetraédricas y octaédricas a través de enlaces de hidrogeno, lo cual determina una expansión de la celda cristalográfica y cuando el catión interlaminar es sodio ( $\text{Na}^+$ ), las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión un máximo desarrollo de propiedades coloidales.



**FIGURA 2.6. ESTRUCTURA DE LA MONTMORILLONITA [16].**

Debido a la elevada CEC de la Montmorillonita, esta puede ser fácilmente modificada mediante reacciones de intercambio catiónico, modificando así su polaridad. Con este tipo de modificación se obtiene una arcilla más afín a las cadenas de polímero que son apolares.

En la Tabla 2 se muestra las propiedades de la Montmorillonita.

**TABLA 2**  
**PROPIEDADES DE LA MONTMORILLONITA**

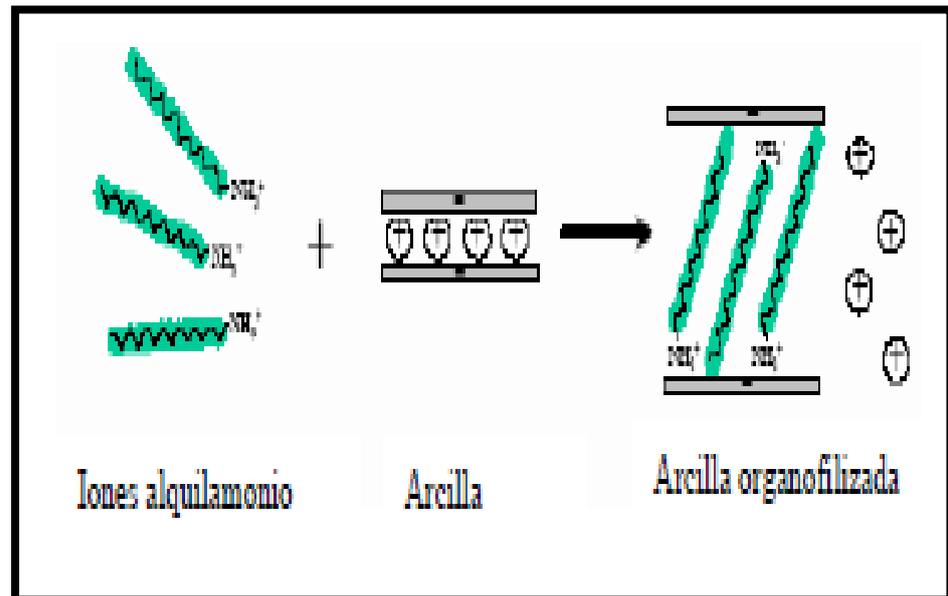
Nombre	Montmorillonita
Grupo	Esmectita
Subgrupo	Montmorillonita
Tipo de lamina	2:1
Interlamina	Cationes hidratados intercambiables
CEC (meq/100g)	80-200
Superficie especifica (m <sup>2</sup> /g)	80-300
Relación de aspecto media	250
Espaciado interlaminar (Å)	9.8 (varía en función del catión)

### **Nanoarcillas**

La arcilla es la nanocarga más utilizada en nanocompuesto, debido a su elevada relación de aspecto, su disponibilidad bajo coste. Este tipo de filosilicato laminar es por naturaleza hidrófilo, en contraposición con el carácter de las principales matrices plásticas empleadas en aplicaciones industriales. Por ello, las arcillas suelen ser modificadas químicamente, confiriéndoles un carácter organofílico que facilita la dispersión de las mismas en el seno de la matriz polimérica [18]. El término Nanoarcillas es un nombre dado

por compañías comercializadoras, mientras que el término Organoarcillas es el nombre reconocido científicamente [19].

La distancia entre dos laminillas consecutivas depende del tamaño de los cationes alojados en el espacio interlaminar por lo que, substituyendo los cationes de sodio o calcio por cationes orgánicos de mayor tamaño, tales como alquil-amonios, se puede incrementar dicha distancia considerablemente. Esta substitución da lugar a lo que se conoce como silicatos organofílicos, con su superficie laminar modificada y su espacio interlaminar expandido. (Ver Figura 2.7). Dependiendo de los grupos funcionales, el empaquetamiento la longitud de los modificadores orgánicos, se pueden preparar arcillas modificadas diseñadas para optimizar su compatibilidad con los polímeros y mejorar su dispersión a nivel manométrico [20].



**FIGURA 2.7. PROCESO DE INTERCAMBIO CATIÓNICO DE IONES ALQUIL-AMONIO POR CATIONES INORGÁNICOS PRESENTES ENTRE LAS LÁMINAS DE ARCILLA [20].**

### **Características de las Nanoarcillas**

Las organoarcillas tienen las siguientes características:

- Tienen morfología laminar (Filosilicatos).
- Elevada capacidad de intercambio catiónico.
- Son extremadamente pequeños tamaño de partículas (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).
- Son importantes para elaboración de Nanocompuestos.

### **Propiedades Físicas y Químicas de las Nanoarcillas.**

Las propiedades de las organoarcillas dependen esencialmente de las características citadas anteriormente.

#### **Propiedades Físicas**

Entre las principales se menciona las siguientes:

- Baja densidad y mejor claridad y brillo.
- Incremento de las propiedades de barrera a la humedad, solventes orgánicos, vapores químicos, etc.
- Mayor resistencia mecánica
- Mayor resistencia a la corrosión y retardación a la flama.

#### **Propiedades Químicas**

Las propiedades más relevantes son:

- El carácter organofílico se logra mediante el intercambio de cationes inorgánicos de la arcilla por iones tipo alquil-amonio en la superficie, con el propósito de emparejar la polaridad de la superficie de la arcilla con la polaridad del intercambio catiónico [21].

- El carácter híbrido de las Nanoarcillas las hace compatibles con materiales orgánicos, logrando absorber del 40 al 70 % de su peso [22].
- La más importante es la capacidad de intercambio catiónico (CEC), y se lo define como la suma de todos los cationes de cambio que la nanoarcilla puede absorber a un determinado pH y es equivalente a la medida del total de cargas negativas [23].

### **Nanoarcillas Comerciales**

Las arcillas pueden ser cambiadas de su carácter hidrofílico a un carácter organofílico gracias a moléculas orgánicas que pueden hospedarse en el espacio interlamilar. Las arcillas organomodificadas han sido usada en muchos otros trabajos de formación de nanocompuestos y ha sido reportado su buen funcionamiento para mejorar las propiedades fisicoquímicas, térmicas, físicas etc., de los polímeros utilizados como matrices [24].

Las arcillas organomodificadas comerciales son las siguientes:

- Cloisite Na<sup>+</sup>
- Cloisite 20A
- Cloisite 30B

- Cloisite 93A

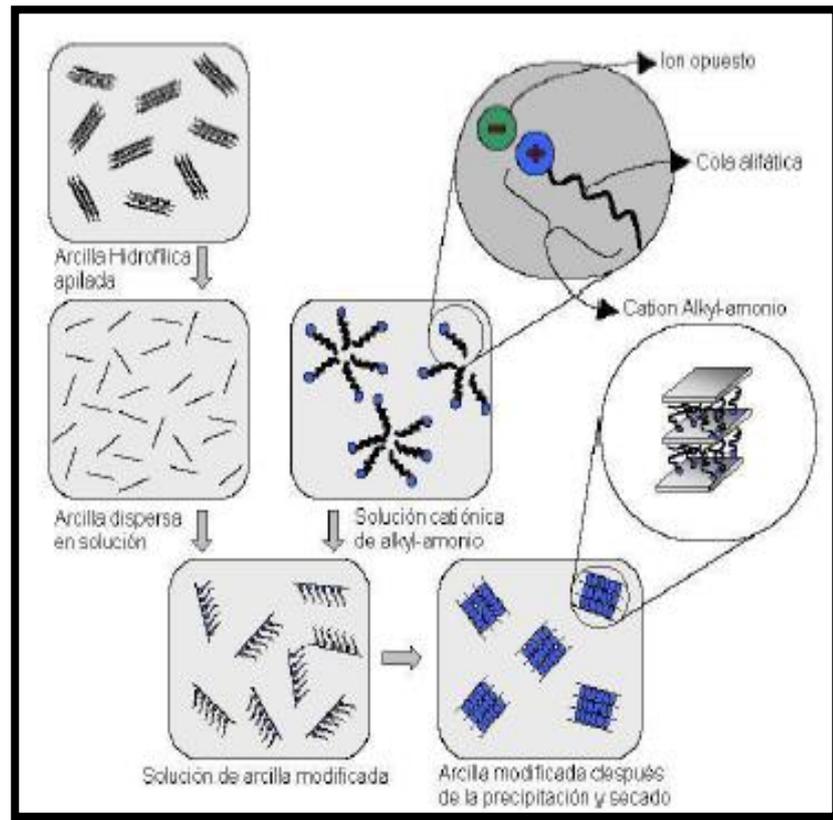
Estas arcillas son tipo Montmorillonita modificadas con una sal de amonio cuaternario.

### **Cloisite Na<sup>+</sup>**

Es una arcilla sódica tipo montmorillonita natural. En el mercado industrial se encuentra como aditivo para plásticos mejorando sus propiedades físicas como la resistencia mecánica, coeficiente lineal de expansión térmica (CLTE), temperatura de deflexión de calor (HDT), y la propiedad de barrera [25].

Este tipo de arcilla es incompatible con agentes orgánicos. Requiere un proceso de transformación (nanoarcilla) mediante tratamiento superficial con surfactante.

El proceso de transformación ocurre cuando se mezclan el surfactante con la arcilla, dando paso a un intercambio catiónico produciendo su modificación. Ver Figura 2.8.



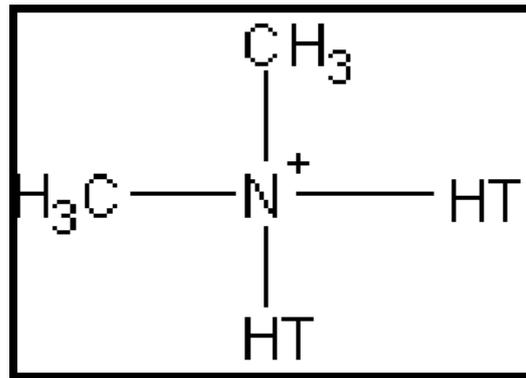
**FIGURA 2.8. PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA ARCILLA A ORGANOARCILLA MEDIANTE TRATAMIENTO SUPERFICIAL**

[26].

### Cloisite 20A

Es una arcilla natural tipo montmorillonita modificada con un sal de amonio cuaternario (2M2HT, dimethyl, dihydrogenated tallow, quaternary ammonium), donde la cadena larga es una molécula denominada Hydrogenated Tallow que posee ~65% C18, ~30%

C16, ~5% C14 aniones de cloruro. Su estructura química se observa en la Figura 2.9.



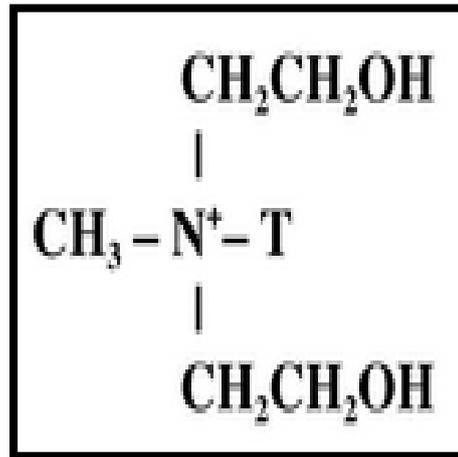
**FIGURA 2.9. ESTRUCTURA QUÍMICA CLOISITE 20A [27].**

La cloisite 20A es usada como aditivo para polímeros, mejorando sus propiedades físicas como temperatura de deflexión de calor y de barrera contra la humedad [27]. Más detalles ver Anexo.

### **Cloisite 30B**

Es una arcilla tipo montmorillonita natural modificada con una sal de amonio cuaternario (2MT2EtOT, methyl, tallow, bis-2-hydroxyethyl, amonio cuaternario) [28]. Está conformada por placas de silicatos de aluminio y magnesio laminadas y modificadas a escala nanométrica.

Tiene las mismas aplicaciones que la Cloisite 20A. Ver más detalles en Anexos, su estructura química es la siguiente (Figura 2.10):



**FIGURA 2.10. ESTRUCTURA QUÍMICA CLOISITE 30B [29].**

### **Cloisite 93A**

Es una arcilla de origen natural modificada con una sal de amonio ternario. Se la utiliza como aditivo plástico. Este tipo de arcilla se utiliza en el proyecto de investigación. Ver ficha técnica en Apéndice G, Su estructura química es (Figura 2.11):

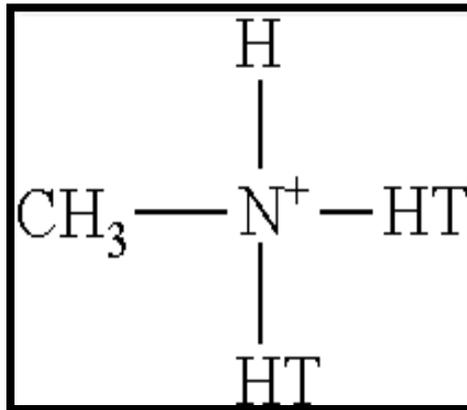


FIGURA 2.11. ESTRUCTURA QUÍMICA CLOISITE 93A [29].

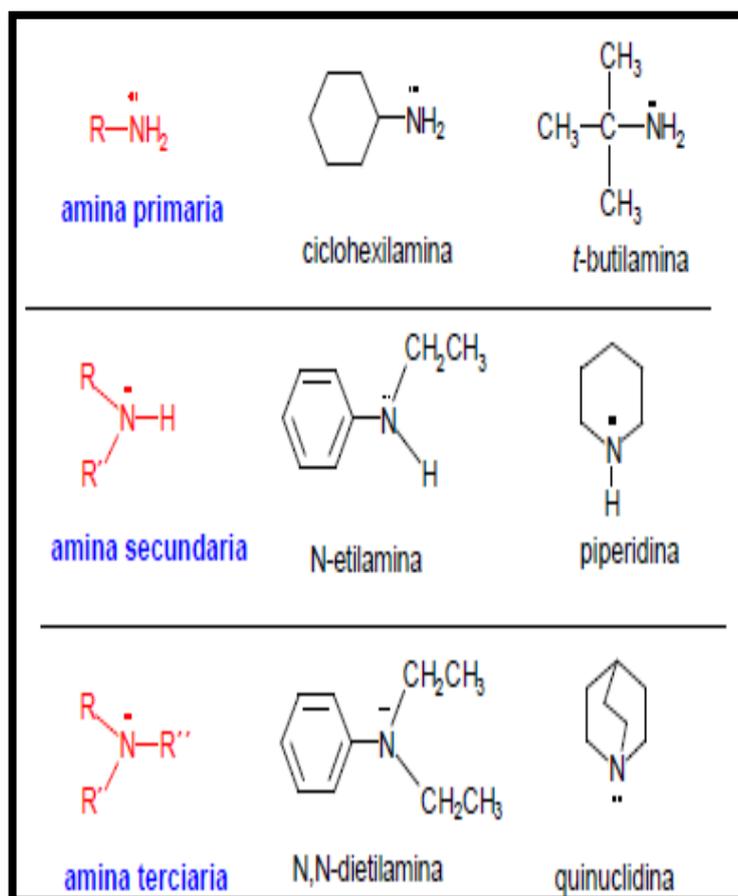
### 2.3 Teoría de Grupo Amino y Resinas Epóxicas.

#### Aminas

Las aminas son compuestos nitrogenados derivados del amoniacó ( $\text{NH}_3$ ) en el que se sustituye uno o más hidrógenos por grupos alquilo o arilo [30]. Las aminas se pueden clasificar según el número de grupos alquilo que están unidos al nitrógeno. Si solo hay uno, la amina es primaria. Si hay dos grupos, la amina es secundaria si hay tres es terciaria [31]. Ver Figura 2.12.

Las aminas primarias y secundarias pueden formar puentes de hidrógeno debido a la presencia de enlaces N-H. Las aminas terciarias, al no tener enlaces N-H, no interaccionan entre ellas por

puentes de hidrogeno, sin embargo, pueden aceptar puentes de hidrogeno con moléculas que tengan enlaces O-H o N-H.



**FIGURA 2.12. GRUPOS AMINOS [31].**

Todas las aminas, incluso las aminas terciarias, forman puentes de hidrogeno. Por esta razón, las aminas de bajo peso molecular (hasta 6 átomos de C) son relativamente solubles en agua y

alcoholes [30]. Las aminas se dividen en poliaminas (alifáticas, cicloalifáticas, aminas terciarias e imidazoles), aminas aromáticas y aminas convertidas (poliamidas y amidoaminas).

### **Aminas Alifáticas**

Esta clase de aminas son las comúnmente utilizadas. Su curado es a temperatura ambiente (25°C) y necesitan de 4 a 7 días para curar completamente, dependiendo de la resina epóxica a ser utilizada. En otros casos pueden ser calentados a 150°C para disminuir el curado hasta 1-2 horas.

### **Aminas Aromáticas**

Tienen viscosidad moderadas a temperatura ambiente, elevado pot life, excelente resistencia química y buenas propiedades físicas, eléctricas sobre los 149 °C y curan a temperaturas entre 93-177°C.

### **Poliamidas**

Se las considera como aminas alifáticas polifuncionales modificadas. Son menos reactivas y volátiles que las poliaminas, por lo cual son utilizadas en mayor concentración. Posee baja

presión de vapor, poco olor y baja toxicidad. Poseen mayor resistencia al agua y adhesión que las aminas alifáticas.

En el proyecto de investigación se usaron los siguientes agentes de curado:

- Jeffamine EDR-148
- Jeffamine EDR-176
- Jeffamine D-230
- Jeffamine T-403
- TETA triethylenetetramine
- TEPA Tretrathylenepentamine

### **JEFFAMINE EDR-148**

Posee una poliéter-amina, a base de trietilenglicol. Su masa molar promedio es 148, su estructura química se muestra a continuación en la figura 2.13.

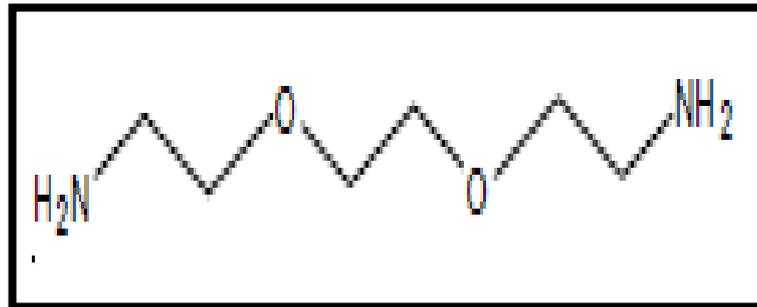


FIGURA 2.13. ESTRUCTURA QUÍMICA EDR-148.

### JEFFAMINE EDR-176

Su peso molecular es relativamente bajo. Agente de curado que proporciona moderadamente curados rápidos, al mezclarla con la resina adquiere buenas propiedades mecánicas, de impacto y excelente resistencia al choque térmico. Es más reactivo que la mayoría de polieteramias. Su estructura química es (Figura 2.14).

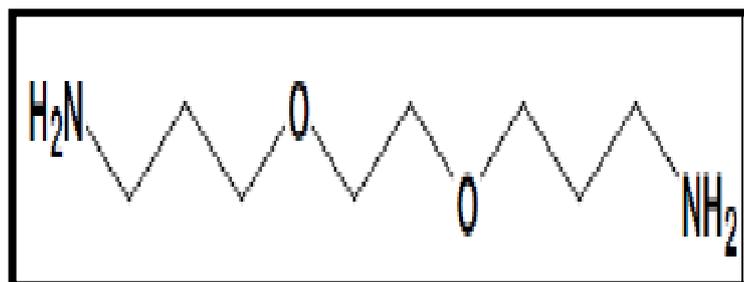


FIGURA 2.14. ESTRUCTURA QUÍMICA EDR-176.

### JEFFAMINE D-230

Diamina Poliéter con baja viscosidad, bajo color. Los radicales metil ( $\text{CH}_3$ ) pendientes de la estructura produce un efecto que da a las resinas curadas una buena dureza, elongación y alta resistencia térmica [32]. Tiene una estructura química tal como se muestra en la Figura 2.15.

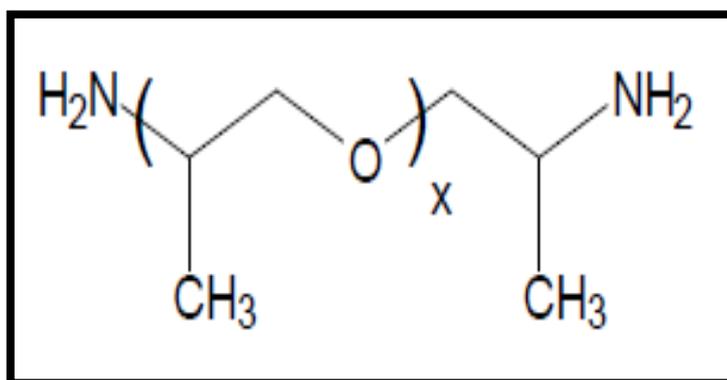
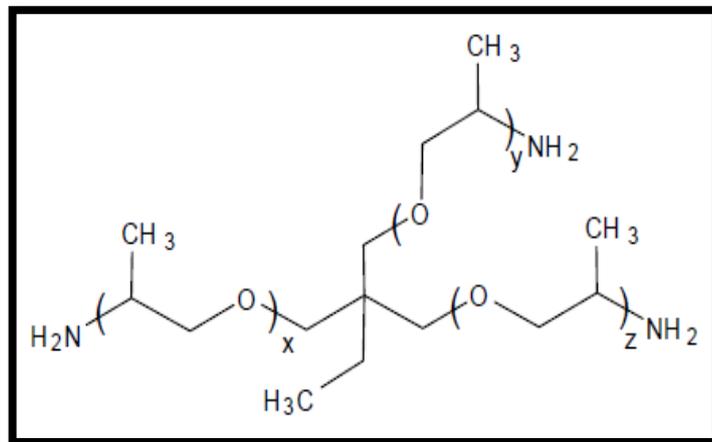


FIGURA 2.15. ESTRUCTURA QUÍMICA D-230.

### JEFFAMINE T-403

Se caracteriza mediante la repetición de unidades de oxipropileno en la cadena principal. Es una amina primaria trifuncional que tiene un peso molecular medio de 440. Sus grupos amina están situados en átomos de carbono secundarios en los extremos de las cadenas de poliéter alifático. Puede ser almacenada en aire a temperatura

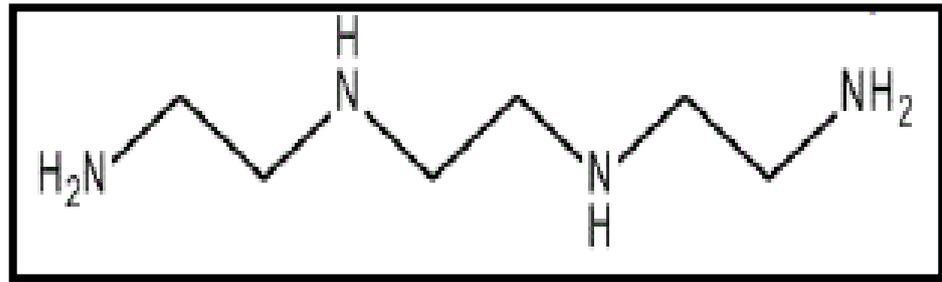
ambiente en periodos prolongados. Equipos que contienen esta amina se puede limpiar usando agua caliente y vapor [32]. Su estructura química es (Figura 2.16):



**FIGURA 2.16. ESTRUCTURA QUÍMICA T-403.**

### **TETA (Triethylenetetramine)**

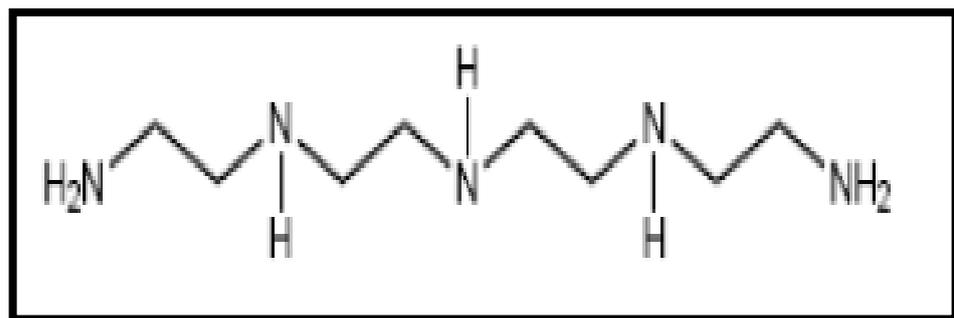
Esta amina es una mezcla de cuatro compuestos de etilenoamina. Es un líquido aceitoso a temperatura ambiente, de color amarillo. Es soluble en agua y disolventes orgánicos. Es fundamental en aditivos de asfalto, inhibidores de corrosión, aditivos de combustible, etc. La estructura química se observa en la Figura 2.17.



**FIGURA 2.17. ESTRUCTURA QUÍMICA TETA.**

### **TEPA (Tetraethylenepentamine)**

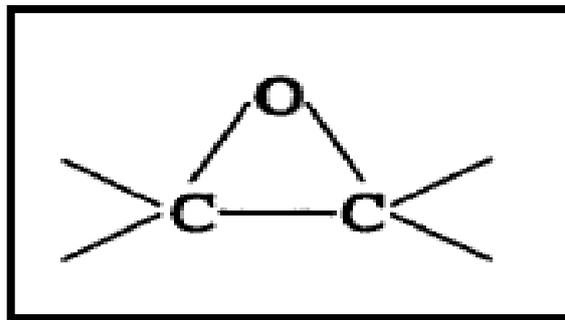
Este tipo de amina se utiliza en la fabricación de aceites lubricantes y aditivos de combustibles, inhibidores de corrosión, aditivos de asfalto y como agente curador. Su estructura química es la siguiente (Figura 2.18):



**FIGURA 2.18. ESTRUCTURA QUÍMICA TEPA.**

## Resinas Epóxicas

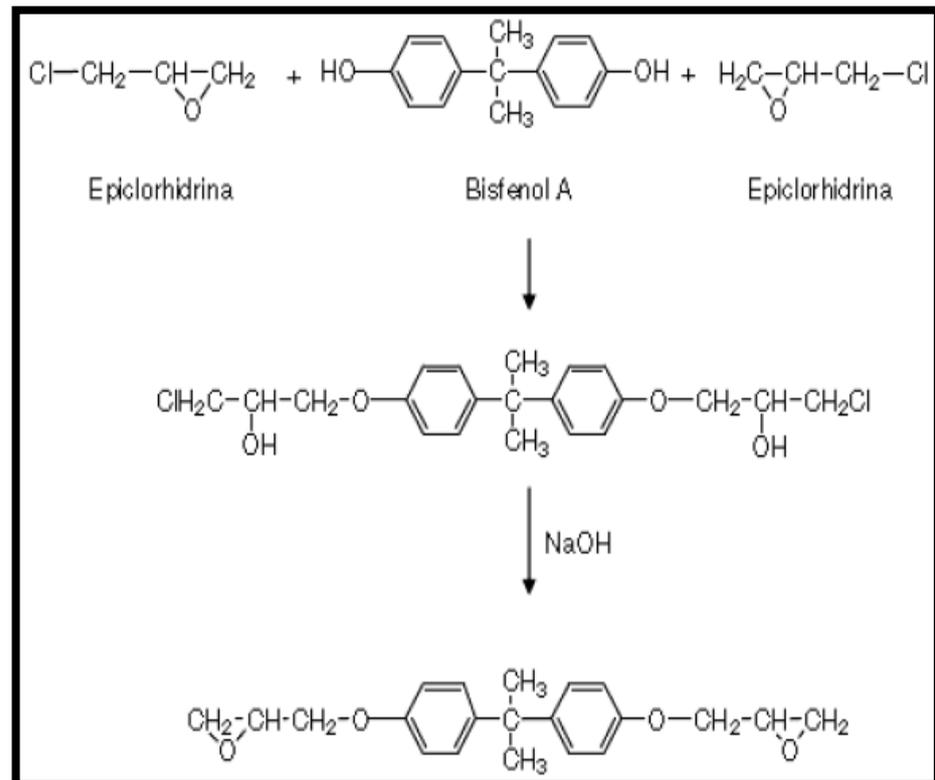
Las resinas epóxicas son productos obtenidos de la química del petróleo que se presentan en forma de sólidos o de líquidos mas o menos viscosos. Por si solos son solubles y fusibles y no poseen ninguna propiedad mecánica reseñable. Pero son capaces de reaccionar con endurecedores o agentes de curado para originar estructuras muy reticuladas (Figura 2.19), insolubles, infusibles, con excelente resistencia a ácidos, bases y disolventes y con altísimas prestaciones mecánicas [33].



**FIGURA 2.19. GRUPO EPOXI U OXIRANO [34].**

Alrededor del 80% de las resinas que se utilizan en el mercado son derivados de la reacción del bisfenol A y la epíclorhidrina (Figura 2.20). La unión de estos dos compuestos da origen a unas resinas

primarias lineales con grupos hidroxilo y epoxi que permiten una reticulación posterior mediante agentes químicos adecuados.



**FIGURA 2.20. REACCIÓN ENTRE BISFENOL A Y EPICLORHIDRINA PARA FORMAR LA RESINA EPÓXICA [34].**

Las propiedades de una resina epóxica fundamentalmente depende de su reactividad, peso molecular, y de las características del endurecedor utilizado en la polimerización. Según el tipo de agente

curador, la reacción puede producirse a temperaturas ambiente o a elevadas temperaturas.

### **Características de las Resinas Epóxicas**

- Las resinas epóxicas son resinas termoestables, que se presentan inicialmente sin polinizar, siendo polimerizadas durante el proceso de fabricación de la pieza.
- Dentro del mismo grupo se encuentran las resinas fenólicas, las resinas de poliéster las acrílicas.
- Su curado se produce mediante reacción de poliadición de una resina base con un agente de curado (aminas, anhídridos, etc.)
- Las resinas epóxicas presentan baja concentración y buena adhesión a la mayoría de las fibras.
- Son bastante resistentes a disolventes, ácidos y álcalis.

### **Propiedades de las Resinas Epóxicas**

Las propiedades de las resinas epóxicas dependen del tipo de agente curador a utilizar, las principales son:

- Buena resistencia mecánica.

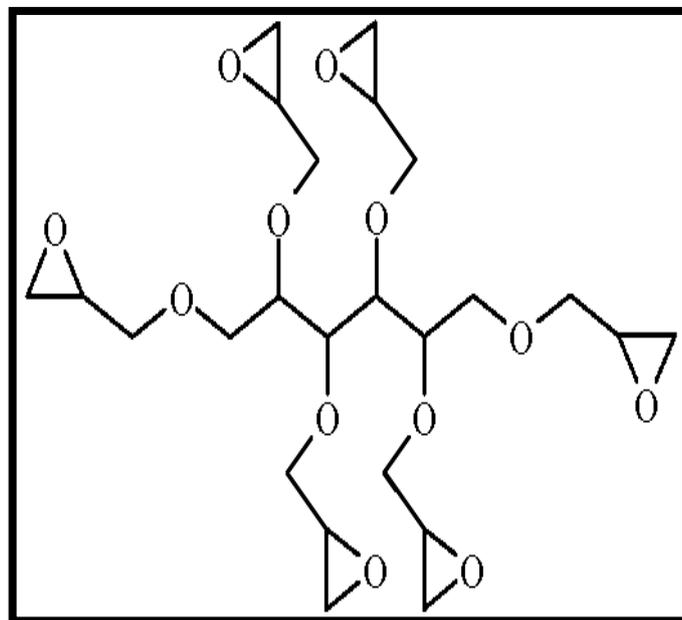
- Buen aislamiento eléctrico.
- Humectación y de adherencia son óptimas.
- Resistente a la humedad.
- Resistente al ataque de fluidos corrosivos.
- Excelente resistencia química.
- Resisten elevadas temperaturas.
- Excelentes propiedades adhesivas.
- Poca contracción al curar.
- Resistente a la abrasión.

### **Aplicaciones de Resinas Epóxicas**

Las resinas epóxicas tienen múltiples aplicaciones:

- Pinturas y Acabados
- Sistemas eléctricos y electrónicos
- Materiales compuestos
- Consumo y aplicaciones náuticas
- Industria y Arte
- Adhesivos

En el proyecto de investigación se utilizó la resina epóxica ERISYS GE-60 (Figura 2.21), el cual pertenece al grupo alifático de resinas epóxicas multifuncionales, que proporciona una mayor densidad de reticulación, además mejora las propiedades químicas y térmicas.



**FIGURA 2.21. ESTRUCTURA QUÍMICA GE-60**

#### **2.4 Inhibidores Volátiles de Corrosión**

Entre las posibles medidas de protección que modifican el medio, una solución posible es la adición al mismo de algún producto que reduzca la velocidad de corrosión. Se denomina **inhibidor** a cualquier constituyente de una fase cuya presencia no es esencial

para que suceda un proceso electroquímico, pero que produce un retardo del mismo, al modificar el estado superficial del material metálico. En cierto sentido, un inhibidor puede considerarse como lo opuesto a un catalizador.

Los inhibidores de corrosión constituyen uno de los métodos más eficaces y económicos para la protección de los metales frente al ataque del medio agresivo en el que se utilizan [35].

El modo de actuar de estas sustancias puede ser alguno de los siguientes [36]:

- Adsorción de una película delgada sobre la superficie del metal.
- Formación de una capa pasivante, a veces de naturaleza desconocida y tan delgada que parece inapreciable.
- Formación, por convección, de una capa de productos de corrosión apreciable a simple vista.
- Modificación de las características corrosivas del medio, por formación de precipitados que lo separan del metal, o bien eliminando o desactivando el constituyente corrosivo del mismo.

## **Tipos de Inhibidores**

Dado el gran número de inhibidores, resulta imposible hablar de todos ellos, por este motivo se dividen los inhibidores más importante en cinco clases o tipos [35].

**Inhibidores Pasivantes.-** Son los más eficaces de todos, pues desarrollan capas pasivantes que detienen el ataque en muchos casos. Se cree que su acción se debe a la formación de una capa de óxido. En ocasiones parece probable que la protección resulte de un efecto combinado de la adsorción del inhibidor sobre la superficie metálica y el desarrollo de capas de óxido sobre la misma. Hay que distinguir los aniones oxidantes como cromatos, nitritos y nitratos capaces de pasivar el acero por si solos.

**Inhibidores Catódicos.-** Reducen el ataque porque polarizan el proceso parcial catódico. Impiden la recombinación de hidrogeno atómico a molecular como los compuestos As, Bi, y Sb empleados en baños de decapado. Precipitan en las áreas catódicas como los carbonatos de Ca o porque captan el oxígeno preciso para el proceso catódico en soluciones neutras o alcalinas, como la hidracina.

**Inhibidores Orgánicos.-** Constituyen una fuente inagotable de inhibidores que no puede clasificarse en catódicos o aniónicos. Su efecto deriva de la adsorción sobre la superficie metálica. La eficacia suele depender de la longitud de la cadena, pero no obedece siempre a las mismas leyes, por ejemplo, las aminas aumentan su poder a medida que aumenta su longitud, mientras que en los mercaptanos alifáticos primarios, ocurre lo contrario. Sin embargo, la efectividad de los inhibidores orgánicos aumenta con el número de grupos funcionales capaces de adsorberse al metal.

**Inhibidores Inductores de Precipitado.-** Son inhibidores mixtos que interfieren los procesos parciales anódico y catódico, lo más conocidos de esta clase son los fosfatos y los silicatos. No suelen conferir un grado de protección tan alto como los inhibidores pasivantes, pero suelen ser muy útiles en situaciones en que se requieren ser más efectivos en aguas en movimientos que en sistemas estacionarios.

**Inhibidores en Fase Vapor.-** Son compuestos con una volatilidad tal que saturan los espacios cerrados rápidamente, pero lo suficientemente pequeña, al mismo tiempo, para mantener su efecto largo tiempo ante fallos pequeños de hermeticidad. Muchos

de ellos atacan a los metales no ferrosos, por lo que a veces se requieren ensayos previos de los productos comerciales para descartar esta posibilidad.

En este proyecto de graduación se empleó el inhibidor “Carboxilato de Amina o RM-210”, cual se describe a continuación.

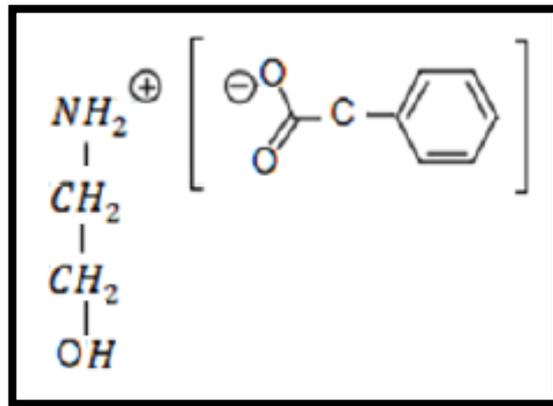
### **Carboxilato de Amina (RM-210)**

Los inhibidores de corrosión basados en Carboxilato de amina, son moléculas que viajan por difusión a través del aire, agua, concreto y otros materiales para lograr un recubrimiento uniforme y total de la superficie metálica incluyendo las micro-cavidades y forman una capa mono-molecular, desplazando el agua, iones cloruros y otros agentes corrosivos brindando una protección eficiente a la superficie [37].

El tiempo de vida útil del recubrimiento usando Carboxilato de amino es mayor al del recubrimiento convencional, ya que este último se va degradando al pasar el tiempo.

RM210 es un inhibidor de corrosión orgánico, fundamentalmente utilizado en pinturas, limpiadores de metales, desengrasantes y

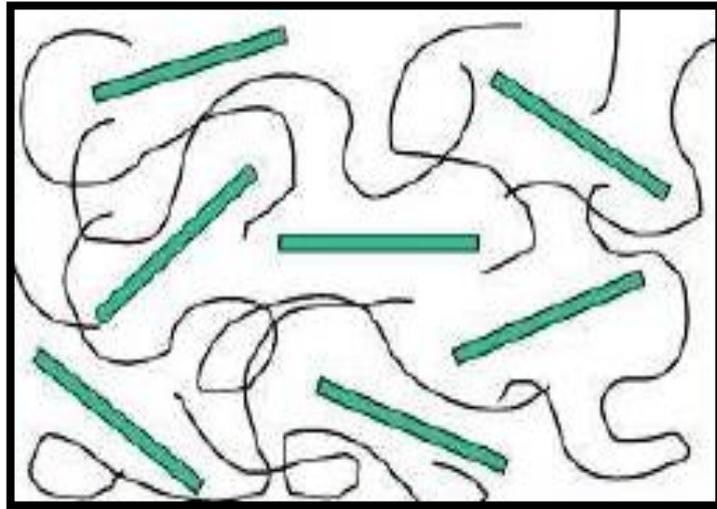
fundas plásticas. La estructura química del Carboxilato de Amina se muestra en la Figura 2.22.



**FIGURA 2.22 ESTRUCTURA DEL CARBOXILATO DE AMINO [38].**

## 2.5 Nanocompuestos de Resinas Epóxicas y Nanoarcillas

Los nanocompuestos donde la fase dispersa son láminas o placas de silicatos (nanoarcillas) separadas y dispersadas en toda la matriz polimérica son denominados nanocompuestos de resinas epóxicas/arcillas (Figura 2.23) [39].



**FIGURA 2.23. NANOCOMPUESTO EPÓXICO/ARCILLA**  
**[39].**

Los nanocompuestos epoxico/arcilla tienen varias ventajas adicionales las cuales incluyen:

- Son más ligeros en peso comparado con los convencionales.
  - Sus propiedades mecánicas son superiores que las de los polímeros reforzados con fibras.
  - Exhiben sobresalientes propiedades de barrera difusional sin requerir de un diseño complejo tipo multipolímeros en capas
- [40].

Mediante el uso de cargas nanométricas (nanocompuesto), se ha comprobado que es posible mejorar propiedades de tipo mecánico,

barrera o térmicas con la adición de un bajo porcentaje de carga (< 100%). En la Tabla 3 se compara algunas de las propiedades de microcompuestos y nanocompuestos [41].

**TABLA 3**  
**PROPIEDADES DE MICROCOMPUESTOS Y**  
**NANOCOMPUESTOS [41].**

<i>Propiedad</i>	<i>Microcompuesto</i>	<i>Nanocompuesto</i>
Módulo de Young	↑	↑↑
Tenacidad	↓	↓=
Propiedades Barrera	↓	↑↑
Resistencia al Fuego	↑	↑
Transparencia	↓	↓=
Coste	↓	↑=

### **Obtención de Nanocompuestos (Epóxico/Arcilla)**

Existen diferentes métodos para la obtención de nanocompuestos epóxico/arcilla. Los principales se describen a continuación [42]:

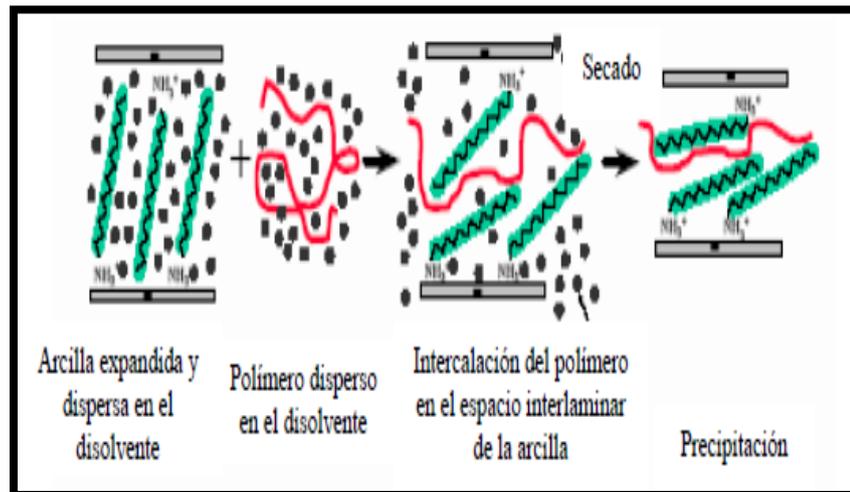
**Mezclado en Disolución.-** Consiste en disolver el polímero y suspender la arcilla en un disolvente común en el cual ambos

componentes sean solubles. El mecanismo de formación de nanocompuestos por esta técnica abarca dos pasos:

- El hinchamiento de las laminillas de arcilla.
- Intercalación de las cadenas poliméricas en la galería interlaminar de la arcilla expandida por el disolvente, desplazando las moléculas de disolvente fuera de la galería.

Después de esto el sistema es calentado para evaporar todo el disolvente. Una vez eliminado el disolvente, el sistema de arcilla intercalada queda intacto y se obtiene el nanocompuesto. Ver Figura 2.24.

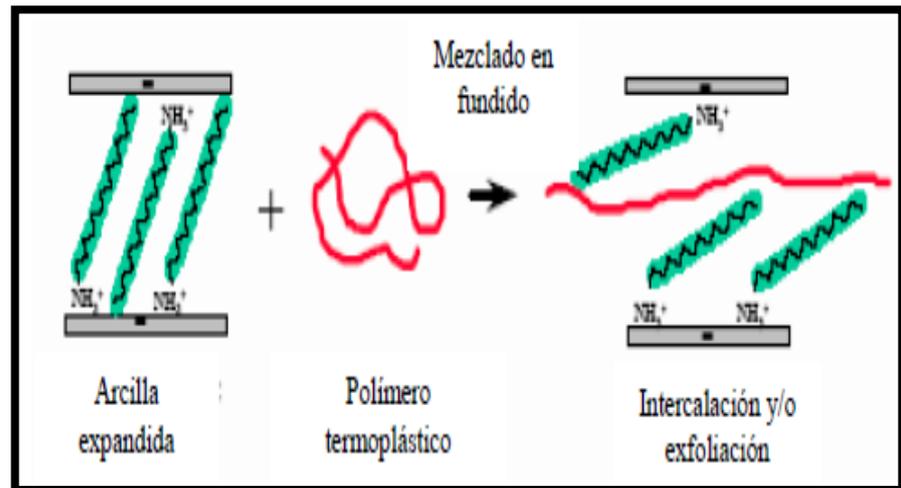
Aunque esta ruta puede ser utilizada para polímeros no polares, su uso industrial está limitado ya que requiere del empleo de disolventes orgánicos peligrosos en gran cantidad, lo cual es negativo para el medio ambiente y la salud. Los nanocompuesto preparados por este método pueden retener una pequeña cantidad de disolvente en el producto final que puede dañar las propiedades finales [43].



**FIGURA 2.24. PROCESO DE MEZCLADO EN DISOLUCIÓN**

[44].

**Mezclado en Fundido.-** Se basa en el mezclado de la arcilla con el polímero en estado fundido. Bajo estas condiciones si las láminas de arcilla son lo suficientemente compatibles con el polímero, las cadenas poliméricas pueden insertarse en la región interlaminar y formar un nanocompuesto intercalado y/o exfoliado. En esta técnica no se requieren disolventes, la forma habitual para preparar los nanocompuestos mediante esta ruta es su procesado en una extrusora de doble usillo. El calor y la fricción generados por los husillos de la extrusora facilitan la intercalación o la exfoliación de la arcilla. El procedimiento se observa en la Figura 2.25 [44].



**FIGURA 2.25. MEZCLADO EN FUNDICIÓN [44].**

**Polimerización In-Situ.-** Se parte de un compuesto laminar previamente expandido en el que, mediante intercambio iónico, se introducen monómeros del polímero con el que se desea preparar el nanocompuesto. Posteriormente, con ayuda del catalizador, se inicia la polimerización. Al polimerizar el monómero en el espacio interlaminar se provoca la rotura de la estructura laminar consiguiéndose así una buena dispersión de las laminillas en el polímero. Se muestra el proceso en la Figura 2.26 [44].

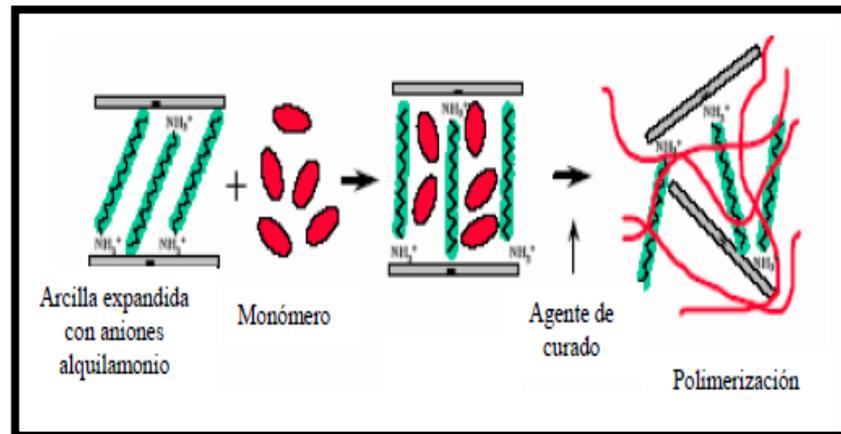


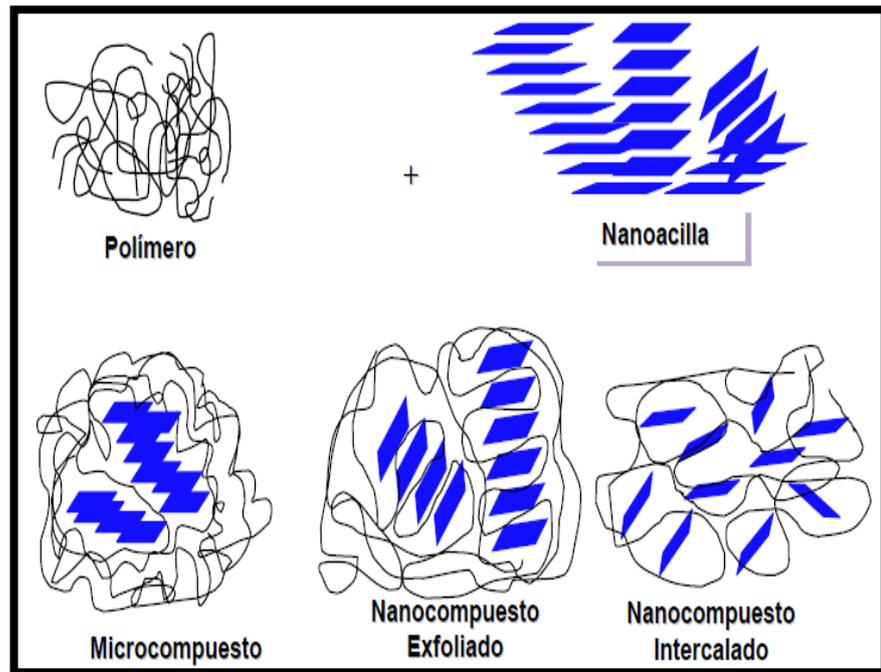
FIGURA 2.26. PROCESO DE POLIMERIZACIÓN IN-SITU [44].

### Morfología de los Nanocompuestos Epóxico/Arcilla

Para tener mejores resultados en las propiedades finales de un nanocompuesto, también influye que las laminillas se encuentren totalmente exfoliadas, intercaladas y/o dispersadas homogéneamente en la matriz polimérica. Por lo que la capacidad de dispersión y exfoliación de las capas de la nanoarcilla en una matriz polimérica depende de la separación entre las capas por efecto de la eficiencia del mezclado con el polímero, así como el contenido de grupos polares en el espacio de la intercapa y del tipo de nanoarcilla utilizada [45]. Una vez obtenido la dispersión de la nanoarcilla en la matriz epóxica se obtiene dos tipos básicos de nanocompuestos [46].

**Morfología Intercala.-** En las estructuras intercaladas una o varias cadenas poliméricas están insertadas entre las capas de nanocarga, manteniéndose la ordenación paralela de la estructura laminar. La intercalación de cadenas poliméricas incrementa el espaciado basal de las laminillas de arcilla. En ocasiones se dan tipos de estructuras combinadas entre la agregada y la intercalada, donde las láminas se encuentran prácticamente en estado intercalado, pero continúan observándose estructuras agregadas de pequeños grupos de láminas (Figura 2.27) [47].

**Morfología Exfoliada.-** La estructura exfoliada se da cuando el polímero consigue dispersar completamente las láminas de arcilla de tal forma que no existe interacción entre las capas de silicato individuales. El estado exfoliado ideal es aquel en el que las laminillas de silicatos están homogéneamente dispersas en el seno de la matriz polimérica. Este tipo de morfología es posible cuando las cadenas poliméricas pueden insertarse en la galería interlaminar de la arcilla gracias a las interacciones favorables que se producen entre los grupos polares de la arcilla y del polímero, consiguiendo separar las laminillas de arcilla (Figura 2.27) [47].



**FIGURA 2.27. TIPOS DE LA DISPERSIÓN DE LA NANOARCILLA EN LA MATRIZ POLIMÉRICA [48].**

### **Factores que afectan a la morfología de los nanocompuestos epoxi/arcilla.**

Durante la síntesis de materiales nanocompuestos basados en matrices tipo epoxi/arcilla se deben considerar múltiples factores que influirán en su morfología y consecuentemente en las propiedades finales de dichos sistemas. A continuación se indican algunos de ellos [49,50,51,52]:

- La elección del agente compatibilizador.

- Método de mezclado de los componentes del sistema.
- Concentración de refuerzo.
- Relación de velocidades de polimerización fuera y dentro de las galerías o láminas.
- Elección del agente de curado.
- Tiempo y temperatura de curado.

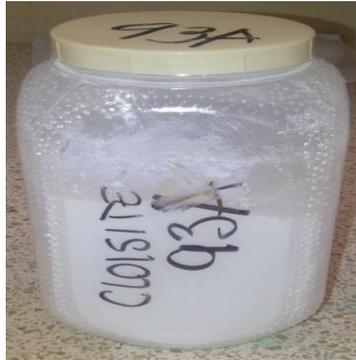
# CAPÍTULO 3

## 3. PARTE EXPERIMENTAL.

### 3.1. Materiales, Equipos y Accesorios.

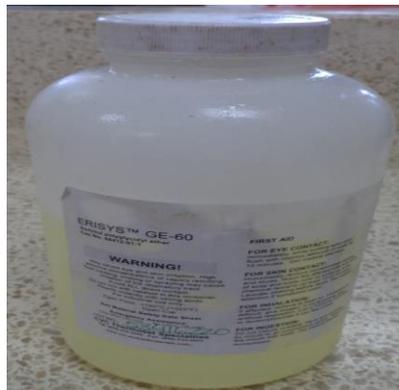
En este capítulo se presenta todo el desarrollo experimental llevado a cabo etapa por etapa utilizando los siguientes materiales, equipos y accesorios para la elaboración de los nanocompuestos.

**Cloisite 93A**, arcilla de origen natural usada en la fabricación de nanocompuestos epoxi/arcilla.



**FIGURA 3.1 CLOISITE 93A**

**Resina Epóxica GE-60**, pertenece al grupo alifático de resinas multifuncionales. Esta resina se empleó para mejorar las propiedades químicas y térmicas.



**FIGURA 3.2 RESINA EPÓXICA GE-60**

**Jeffamine EDR-148**, agente curador utilizado con la resina epóxica para formar la mezcla epoxi/amina.



**FIGURA 3.3 JEFFAMINE EDR-148**

**Jeffamine EDR-176**, agente curador más reactivo que algunas polieteteraminas. Proporciona un curado rápido.



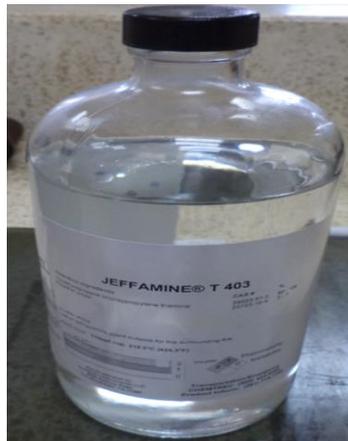
**FIGURA 3.4 JEFFAMINE EDR-176**

**Jeffamine D-230**, esta amina produce a la mezcla epoxi/amina una buena dureza y alta resistencia térmica.



**FIGURA 3.5 JEFFAMINE D-230**

**Jeffamine T-403**, agente curador trifuncional con peso molecular de 440.



**FIGURA 3.6 JEFFAMINE T-403**

**TETA**, líquido aceitoso soluble en agua y disolventes orgánicos. Es fundamental para inhibidores de corrosión.



**FIGURA 3.7 TETA TRIETHYLENETETRAMINE**

**TEPA**, esta amina es fundamental para la elaboración de aceites lubricantes y aditivos de asfaltos.



**FIGURA 3.8 TEPA TETRAETHYLENEPENTAMINE**

**Carboxilato de Amina (RM-210)**, inhibidor de corrosión usada al 1% en la mezcla epoxi/amina/arcilla.



**FIGURA 3.9 INHIBIDOR RM-210**

**Desecante Gel de Sílice**, indicador de humedad que funciona cambiando de color el compuesto de acuerdo a la cantidad de humedad absorbida.



**FIGURA 3.10 DESECANTE GEL DE SILICE**

**Acetona**, compuesto químicamente libre de metanol y impurezas reactivas. Sirve para remover suciedad de placas u otros objetos usados en este trabajo de investigación.



**FIGURA 3.11 ACETONA**

**Desoxidante**, líquido químico contra la oxidación empleado para limpieza del óxido de las placas a usarse.



**FIGURA 3.12 DESOXIDANTE**

**Agua Destilada**, aquella agua a la cual se la eliminado todas las sales. Se usó para el ensayo de cámara de niebla salina.



**FIGURA 3.13 AGUA DESTILADA**

**Placas de Acero**, utilizadas en el ensayo de corrosión, ensayo de adherencia y ensayo de dureza. Sus dimensiones son 128 mm x 76 mm x 0,75 mm.



**FIGURA 3.14 PLACA DE ACERO DE BAJO CARBONO**

**Placas de Acero Estandarizada**, estos tipos de placas fueron utilizadas para ensayo de corrosión.



**FIGURA 3.15 PLACA DE ACERO ESTANDARIZADA**

**Cloruro de Sodio (NaCl)**, sustancia química que sirve para realizar una simulación de ambiente corrosivo junto con el agua destilada.



**FIGURA 3.16 CLORURO DE SODIO**

### **Equipos Utilizados**

Los siguientes equipos fueron esenciales para el desarrollo del trabajo de investigación:

**Deshumificador**, esencial para el laboratorio de síntesis (FIMCP-MATERIALES). Permite mantener las condiciones controladas de humedad en el ambiente. Es necesario tener en el laboratorio una humedad menor al 50% para la realización de los nanocompuestos.



**FIGURA 3.17 DESHUMIFICADOR**

**Balanza Analítica Electrónica**, Sus especificaciones técnicas son:

- Capacidad de muestra 205 gr
- Resolución 0,0001 gr



**FIGURA 3.18 BALANZA ANALÍTICA**

**Higrómetro**, mide la temperatura y la humedad relativa del ambiente donde se realizó los experimentos. La Figura 3.19 muestra el porcentaje de humedad y temperatura apropiado para trabajar.



**FIGURA 3.19. HIGRÓMETRO**

**Speed Mixer (Mezclador)**, utilizado para obtener una buena mezcla entre epoxi/amina, epoxi/amina/arcilla y epoxi/amina/arcilla/inhibidor. Sus especificaciones técnicas son:

- Modelo DAC 400.1 FVZ
- Revolución Máxima 2750 rpm
- Voltaje 230 V
- Frecuencia 50/60 Hz



**FIGURA 3.20 MEZCLADOR DAC 400.1 FVZ**

**Desecador**, sirve para almacenar las muestras realizadas en esta investigación. Dichas muestras necesitan estar en un ambiente cerrado y seco para su futuro curado.



**FIGURA 3.21 DESECADOR**

**Horno Universal**, sus especificaciones técnicas son:

- Interior de Acero Inoxidable
- Rango de temperatura 30-250 °C
- Dimensiones 630 x 920 x 650



**FIGURA 3.22 HORNO UNIVERSAL**

**Troquel**, equipo diseñado para realizar probetas de ensayo de tensión. Posee diferentes punzones normalizados (probetas). Las probetas serán elaboradas de acuerdo a la Norma a usar. En esta investigación se usó la Norma ASTM D 882. La marca del troquel es RAY-RAN.



**FIGURA 3.23 TROQUEL RAY-RAN**

**Equipo de Vacío**, es fundamental para el desarrollo de los moldes para las probetas de tensión. Se hizo vacío para que las burbujas que se encuentran en el centro de la mezcla suban hasta la superficie para obtener un buen acabado del molde. Además,

tambien se la usó para la mezcla epoxica/amina/arcila/inhibidor debido a las burbujas que se producen al mezclarse en el speed mixer y asi obtener un buen film sin burbujas.



**FIGURA 3.24 EQUIPO DE VACIO**

**Aplicador de Película**, su fabricación es de acero inoxidable. Permite obtener películas húmedas de espesores de 1 mil hasta 8 mil. Se utilizó para la aplicación de las mezclas sobre las placas de acero. Su marca es GARDCO.



**FIGURA 3.25 APLICADOR DE PELÍCULAS**

**Equipo de Prueba de Adherencia**, permite trazar líneas perpendiculares tanto horizontal como vertical con sus 11 dientes separados. Además contiene una cinta adhesiva que permite retirar el material removido de la placa. Por último contiene una lupa con linterna para una buena apreciación de los resultados del ensayo realizado.



**FIGURA 3.26 EQUIPO DE PRUEBA DE ADHERENCIA**

**Equipo de Ensayo de Dureza**, equipo formado por 8 lápices mecánicos de dibujo. Son elaboradas con plomo ubicadas en una matriz circular sobre un cilindro plástico. Los lapices están enumerados del 1 al 8. Se utilizó siguiendo la Norma ASTM D 1474.



**FIGURA 3.27 EQUIPO DE ENSAYO DE DUREZA**

**Equipo de Ensayo de Tensión**, permite que una probeta sea sometida a una carga axial gradualmente creciente hasta que ocurra la falla. El procedimiento para lograr lo anterior es que la probeta se sujete tanto en la parte superior como inferior con las mordazas del equipo y se inicia el ensayo.



**FIGURA 3.28 EQUIPO DE TENSIÓN**

**Cámara de Niebla Salina**, permite simular un ambiente corrosivo a la cual el recubrimiento en la placa va a estar expuesta en el interior del equipo.



**FIGURA 3.29 CÁMARA SALINA**

### **Accesorios Utilizados**

**Guantes**, sirven para protección de los compuestos a utilizar.



**FIGURA 3.30 GUANTES**

**Mascarillas**, son fundamentales en la manipulación de sustancias tóxicas, por ejemplo las aminas.



**FIGURA 3.31 MASCARILLAS**

**Paños de Limpieza**, se usarón para la limpiza de objetos tales como pinzas, placas, espátulas, etc.



**FIGURA 3.32. PAÑOS DE LIMPIEZA**

**Envases para Mezclas**, estos sirvierón para la realización de las mezclas de los nanocompuestos.



**FIGURA 3.33 ENVASE PARA MEZCLAS**

**Envases para Almacenamiento**, estos reemplazarán a los desecadores debido a la falta de estos. Tienen la misma función que los desecadores de almacenar las muestras.



**FIGURA 3.34 ENVASES PARA ALMACENAMIENTO**

**Espatula**, esencial para remover la mezcla para moldes.



**FIGURA 3.35 ESPATULAS**

**Pinzas**, son fundamentales para el levantamientos de las probetas de tension de los moldes.



**FIGURA 3.36 PINZAS**

**Estilete**, sirvió para cortar elementos de separación de placas.



**FIGURA 3.37 ESTILETE**

**Brujita**, se usó para pegar las muestras en los moldes.



**FIGURA 3.38 BRUJITA**

**Lijas**, se usarán tres clases de lijas (240, 400, 1200) para un buen acabado de las placas antes de elaborar el recubrimiento.



**FIGURA 3.39 LIJA**

**Cinta**, se emplearán para cubrir los bordes de las placas antes de colocarlas a la cámara salina. Es necesario esto para evitar que se note la corrosión de la placa en los bordes .



**FIGURA 3.40 CINTA**

**Secadora**, instrumento necesario para el secado de las placas después de limpiarlas con acetona.



**FIGURA 3.41 SECADORA**

### **3.2. Procedimiento para Preparación de Placas Metálicas**

Unos de los primeros pasos para la aplicación de los recubrimientos (nanocompuestos) en las placas son su preparación o limpieza. Las placas de acero deben seguir el siguiente procedimiento de limpieza para su respectivo uso:

- Las placas se encontraban oxidadas, el cual fue necesario el uso de desoxidante para eliminar un poco el óxido. Ver figura 3.42



**FIGURA 3.42 PLACA OXIDADA**

- Las placas fueron colocadas en una tina con la solución desoxidante por un tiempo prolongado de un día. La Figura 3.43 muestra el paso mencionado.



**FIGURA 3.43 PLACAS EN SOLUCIÓN DESOXIDANTE**

- Posteriormente las placas fueron enjuagadas con agua destilada para retirar la solución desoxidante y secarlas con la ayuda de paños. Es necesario para proceder a lijar las placas.
- Se procedió a lijar las placas, primero con la lija 240 para retirar la mayor parte de óxido de la superficie de la placa, posteriormente con la lija 400 para obtener un acabado poco liso y por último con la lija 1200 para lograr un acabado superficial liso para la aplicación del recubrimiento. Ver figura 3.44.



**FIGURA 3.44 LIJADO SUPERFICIAL**

- Por último, limpiar la placa con acetona (Figura 3.45). Por consiguiente se obtiene la placa lista para la aplicación del nanocompuesto.



**FIGURA 3.45 ACABADO SUPERFICIAL**

### **3.3. Procedimiento para la obtención de Nanocompuestos de Resinas Epóxicas y Nanoarcillas.**

En breve se detalla el procedimiento para la elaboración de nanocompuestos de resinas epóxicas y nanoarcillas. Se fabricaron en total 18 compuestos:

- 6 compuestos tradicionales o convencionales con la mezcla resina epóxica/amina pero sin dispersión de nanoarcilla. Se utilizó la GE-60 y las aminas alifáticas mencionadas anteriormente.
- 6 nanocompuestos obtenidos de la mezcla resina epóxica/amina/arcilla. Agregando la Cloisite 93A en un 5 %.
- 6 nanocompuesto fabricados con la mezcla resina epóxica/amina/arcilla/inhibidor. Adicionando el inhibidor de corrosión (RM-210) al 1 %.

Los nanocompuestos desarrollados serán curados a temperatura ambiente (25 °C) y a una humedad relativa < 50 % en un cuarto o laboratorio sin impurezas.

Anteriormente se mencionaron los diferentes procedimientos de obtención de los nanocompuestos epoxi/arcilla. En el proyecto de investigación se utilizó el procedimiento de polimerización in-situ.

### 3.3.1. Mezclado de Arcilla con Inhibidor Carboxilato de Amina.

Este procedimiento se realiza antes de mezclarla con la resina epóxica y amina. Es muy sencillo de elaborar ya que se mezclan la arcilla con el inhibidor, uno al 5% y el otro al 1% (Figura 3.46). Se cita a continuación el procedimiento de mezclado:



**FIGURA 3.46 ARCILLA E INHIBIDOR DE CORROSIÓN**

- ✓ Primeramente se escoge un patrón para realizar la mezcla. Es la cantidad de resina epóxica (gramos) para realizar varios nanocompuestos. En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de resina epóxica a usar en la elaboración de nanocompuestos.

**TABLA 4**  
**PATRÓN DE RESINA EPÓXICA**

Muestras	Gramos de Resina
1	10 gr
2	10 gr
3	10 gr
4	10 gr
5	10 gr
6	10 gr
<b>TOTAL</b>	<b>60 gr</b>

La cantidad de 10 gr de resina es más o menos la proporción que se usó para realizar un nanocompuesto. Esta cantidad sirvió para elaborar los film para los ensayos de adherencia, dureza y corrosión.

- ✓ Obtenido el patrón se realizó el procedimiento de obtener el 5 % de la arcilla y el 1 % del inhibidor mediante ecuaciones matemáticas.

$$gr\ Arcilla = \frac{gr\ Resina * 5\ \%}{100\ \%}$$

$$gr\ Inhibidor = \frac{gr\ Resina * 1\ \%}{100\ \%}$$

- ✓ Se procedió a pesar la arcilla en la balanza electrónica.



**FIGURA 3.47 MEDICIÓN DE LA ARCILLA**

- ✓ Así mismo se procedió a pesar la cantidad del 1 % del inhibidor de corrosión en la balanza.



**FIGURA 3.48 MEDICIÓN DEL INHIBIDOR**

- ✓ Ambas concentraciones se unieron para formar una sola.



**FIGURA 3.49 ARCILLA E INHIBIDOR JUNTOS**

- ✓ Se procedió a colocar la concentración en el horno a una temperatura de 70 °C por un tiempo de 10 minutos. Esto da una buena adherencia entre ambas.



**FIGURA 3.50 CONCENTRACIÓN ARCILLA E INHIBIDOR  
EN EL HORNO**

- ✓ Después de los 10 minutos se realizó el proceso de mezclado en el speed mixer por un tiempo de 2 minutos y a una velocidad de 2500 revoluciones.



**FIGURA 3.51 MEZCLADO DE LA ARCILLA E  
INHIBIDOR**

- ✓ Por último se procedió a colocarlo una vez más en el horno y al speed mixer como se mencionó anteriormente. Luego de esto la mezcla esta lista para ser usada para elaborar los nanocompuestos.



**FIGURA 3.52 MEZCLA DE ARCILLA E INHIBIDOR**

**LISTO**

### **3.3.2. Preparación del Nanocompuesto.**

Esta sección es importante ya que se encarga de la fabricación de los recubrimientos convencionales y de los nanocompuestos que fueron utilizados en los diferentes ensayos realizados en el proyecto de graduación. A continuación se detalla el procedimiento para la preparación de los compuestos tradicionales y los nanocompuestos.

#### **Preparación Compuesto Convencional**

Para el desarrollo de los compuestos convencionales se toma en cuenta la relación de mezcla entre la resina epóxica GE-60 y las 6

aminas alifáticas descritas anteriormente y obtener una buena optimización entre las dos sustancias.

**Relación de Mezcla.** La formulación de los sistemas epoxi requiere el conocimiento de la estequiometría y el manejo de la mezcla entre los distintos componentes. Para la obtención de resultados óptimos, estos sistemas se formulan generalmente respetando las proporciones de la resina y el agente curador que surgen de los cálculos estequiométricos. Fórmula estequiométrica:

$$EEW \rightarrow 100$$

$$AHEW \rightarrow x(phr)$$

$$x(phr) = \frac{AHEW * 100}{EEW}$$

$$gr\ amina = \frac{gr\ resina * phr}{100}$$

donde:

**EEW**, peso equivalente del epóxico (GE-60). Su valor se observa en el Apéndice H.

**AHEW**, peso equivalente hidrógeno activo. Los valores se observan en las diferentes hojas técnicas de las aminas alifáticas usadas.

**phr**, parte de amina requerida para reaccionar con 100 partes por peso de resina epóxica.

La Tabla 5 muestra un ejemplo de las concentraciones de resina epóxica y amina usando la relación de mezcla para la elaboración del compuesto convencional.

**TABLA 5**

**PROPORCIONES DE RESINA EPÓXICA Y AMINA**

<b>GE60 (EEW)</b>	<b>EDR148 (AHEW)</b>	<b>phr (%)</b>	<b>Resina (gr)</b>	<b>Amina (gr)</b>
177,5	37	20,845	5	1,042

Las proporciones de todos los compuestos convencionales se muestran en APÉNDICE H. En la Figura 3.53 se observa el procedimiento de mezclado del compuesto tradicional.



**FIGURA 3.53 PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DEL  
COMPUESTO CONVENCIONAL**

**Mezclas de Compuestos Convencionales**

Los compuestos convencionales se usaron en diferentes ensayos analizando sus propiedades y además compararlos con los nanocompuestos con arcilla y nanocompuestos con arcilla e inhibidor. En la Tabla 6 se observa las muestras convencionales que se usaron en el proyecto de graduación.

**TABLA 6**

**MEZCLAS CONVENCIONALES A REALIZARSE**

# Mezclas	Compuesto Convencional
1	GE60/EDR148
2	GE60/EDR176
3	GE60/D230
4	GE60/T403
5	GE60/TETA
6	GE60/TEPA

**Preparación del Nanocompuesto con Arcilla**

Se elaboraron con los componentes tales como la resina epóxica, amina alifática y arcilla. El procedimiento de desarrollo es casi el mismo que el anterior adicionando arcilla al 5 %. La cantidad de

arcilla usada en la mezcla se determinó usando la ecuación matemática vista en la sección 3.3.1. La Tabla 7 muestra un ejemplo de las concentraciones del nanocompuesto.

**TABLA 7**  
**CONCENTRACIONES DE RESINA, AMINA Y ARCILLA**

phr	Resina (gr)	Amina (gr)	Arcilla (gr)
19,8524	5	0,993	0,25

Todos los cálculos de las concentraciones que se utilizaron para la realización de los nanocompuestos con arcilla se muestran en el APÉNDICE H. La Figura 3.54 muestra el procedimiento de la preparación del nanocompuesto con la adición de la arcilla.





**FIGURA 3.54 PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DEL NANOCOMPUESTO CON ARCILLA**

### **Mezclas de Nanocompuestos con adición de Arcilla**

Son fáciles de elaborar siguiendo el procedimiento de preparación para obtener una mezcla óptima para su análisis correspondiente.

La Tabla 8 presenta los nanocompuestos elaborados con la adición

de la arcilla C93A, las cuales fueron utilizadas en el trabajo de graduación.

**TABLA 8**

**NANOCOMPUESTOS CON ARCILLA A REALIZARSE**

# Mezclas	Nanocompuestos con Arcilla
1	GE60/EDR148/C93A
2	GE60/EDR176/C93A
3	GE60/D230/C93A
4	GE60/T403/C93A
5	GE60/TETA/C93A
6	GE60/TEPA/CC93A

**Preparación del Nanocompuesto con Arcilla e Inhibidor de Corrosión**

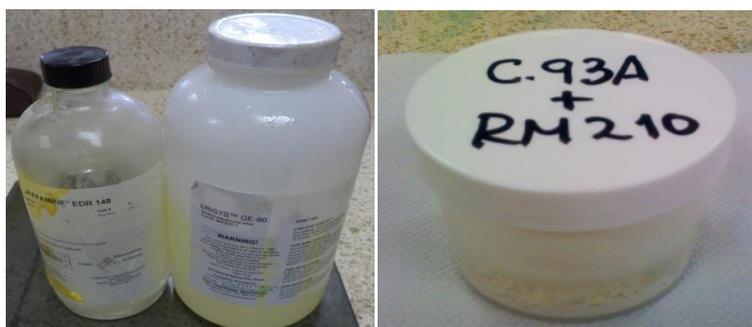
En la preparación se utilizaron los compuestos como resina, aminas alifáticas, la arcilla, y el inhibidor. Las concentraciones de arcilla fueron al 5 % y del inhibidor al 1 %. Como se definió anteriormente la arcilla y el inhibidor deben mezclarse como se observa en la

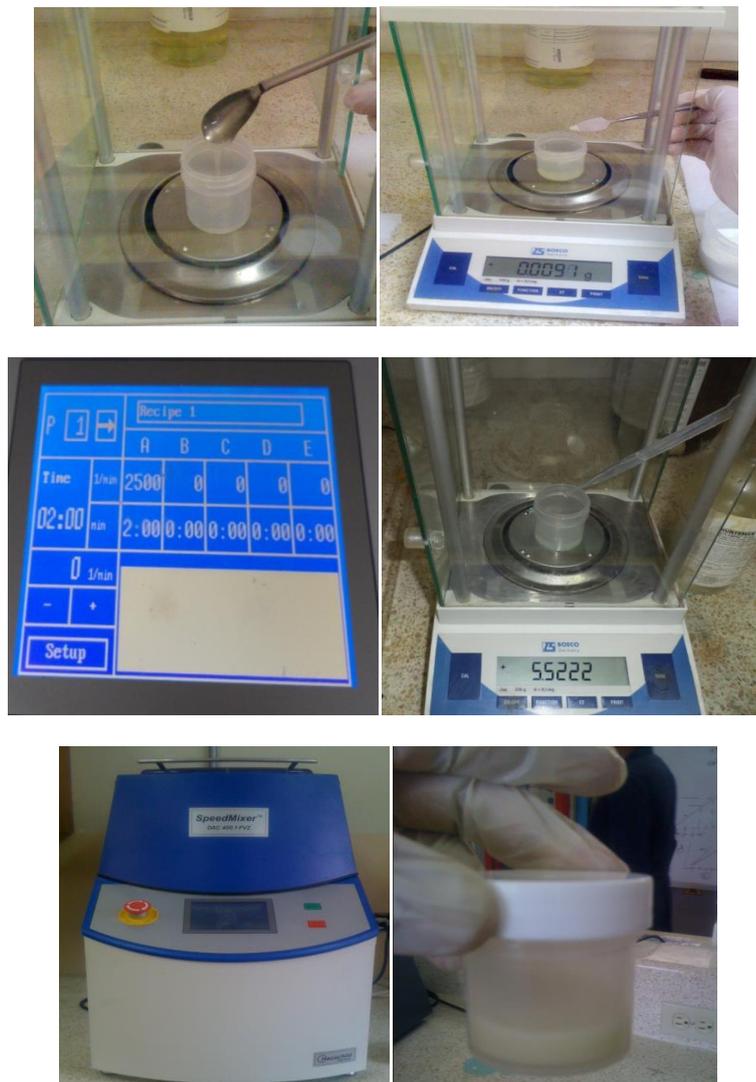
sección 3.3.1 para su utilización. El procedimiento es similar como los dos casos anteriormente mencionados. La Tabla 9 muestra un ejemplo de las concentraciones del nanocompuesto.

**TABLA 9**  
**CONCENTRACIONES DE RESINA, AMINA, ARCILLA E**  
**INHIBIDOR**

phr	Resina (gr)	Amina (gr)	Arcilla (gr)	Inhibidor (gr)
19,665	5	0,983	0,25	0,05

Todos los cálculos de las concentraciones se observan en Apéndice H. La Figura 3.55 muestra el procedimiento.





**FIGURA 3.55 PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DEL NANOCOMPUESTO CON ARCILLA E INHIBIDOR**

**MEZCLAS DE NANOCOMPUESTOS CON ARCILLA E INHIBIDOR**

La tabla 10 muestra los siguientes nanocompuestos utilizados en los diferentes ensayos que se realizaron en el proyecto de graduación.

**TABLA 10**  
**NANOCOMPUESTOS CON ARCILLA E INHIBIDOR A REALIZARSE**

# Mezclas	Nanocompuestos con Arcilla e Inhibidor
1	GE60/EDR148/C93A/RM210
2	GE60/EDR176/C93A/RM210
3	GE60/D230/C93A/RM210
4	GE60/T403/C93A/RM210
5	GE60/TETA/C93A/RM210
6	GE60/TEPA/C93A/RM210

#### 3.4. Ensayos y Pruebas a realizarse

Para la realización de todos los ensayos y pruebas fue necesario tener preparado todas las probetas o film que se usaron en los diferentes ensayos. A continuación se definirá los procedimientos

para el desarrollo de las probetas o film para los diferentes ensayos a realizarse.

### **Obtención de Probetas para Ensayo de Corrosión, Ensayo de Adherencia y Ensayo de Dureza**

La obtención de las probetas para los diferentes ensayos se enmarca en la elaboración de los nanocompuestos y de la preparación de la placa de acero. La fabricación de las probetas es el siguiente:

- Primeramente tener la placa de acero de bajo carbono lista para la aplicación del nanocompuesto, eso quiere decir bien lijada y limpia su superficie con acetona como se observa en la Figura 3.56. La preparación de la placa se detalla en la sección 3.2.



**FIGURA 3.56 PLACA DE ACERO LISTA**

- Obtención del nanocompuesto para su aplicación (Figura 3.57). La elaboración se menciona en la sección 3.3.2.



**FIGURA 3.57 NANOCOMPUESTO ELABORADO**

- El nanocompuesto se procede a aplicar en la placa de acero en forma de recubrimiento o film (Figura 3.58). La aplicación se realizó por medio de un aplicador GARCO descrito anteriormente. Se escogió del aplicador un espesor de 3 mil para la fabricación del film.



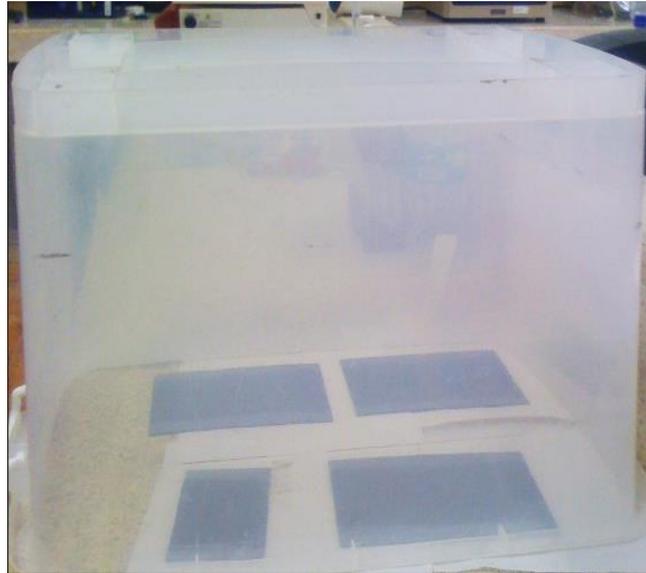
**FIGURA 3.58 APLICACIÓN DEL NANOCOMPUESTO**

- El recubrimiento o film en la placa se obtuvo deslizando uniformemente hacia abajo y rápido el aplicador (Figura 3.59).



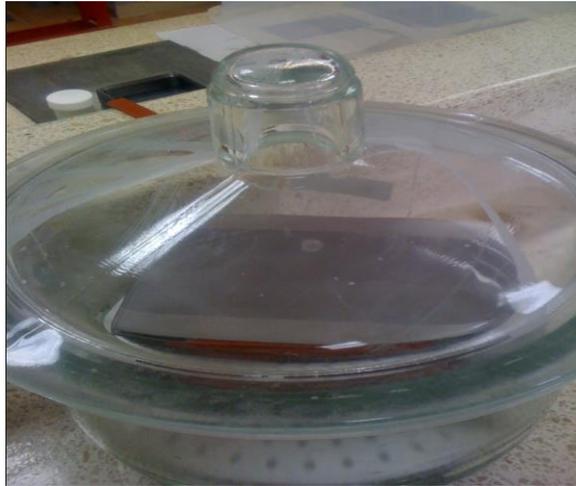
**FIGURA 3.59 FILM PREPARADO EN LA PLACA**

- El recubrimiento en las placas fueron conservadas en un recipiente cerrado antes de almacenarlas por un tiempo de dos horas para evitar cualquier polvo u otro objeto que dañe el film (Figura 3.60).



**FIGURA 3.60 PROBETAS CONSERVADAS EN  
RECIPIENTE CERRADO PARA EVITAR EL POLVO**

- Pasada las dos horas, las probetas fueron almacenadas en el desecador o en los envases de almacenamiento para su respectivo curado. El curado de todos los recubrimientos en la placa duraron aproximadamente 7 días, luego de esto se usaron para los diferentes ensayos.



**FIGURA 3.61 PROBETAS ALMACENADAS PARA SU RESPECTIVO CUARADO**

En total se elaboraron 72 probetas con los compuestos convencionales y nanocompuestos descritos anteriormente para diferentes ensayos a realizarse (corrosión, adherencia y dureza), los cuales se distribuyeron de la siguiente manera como se observa en la Tabla 11.

**TABLA 11**  
**DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYOS**

Ensayo	# Probetas	Mezcla
CORROSIÓN	2	GE60/EDR148
	2	GE60/EDR148/C93A
	2	GE60/EDR148/C93A/RM210
	2	GE60/EDR176
	2	GE60/EDR176/C93A
	2	GE60/EDR176/C93A/RM210
CORROSIÓN	2	GE60/D230
	2	GE60/D230/C93A
	2	GE60/D230/C93A/RM210
	2	GE60/T403
	2	GE60/T403/C93A
	2	GE60/T403/C93A/RM210
CORROSIÓN	2	GE60/TETA
	2	GE60/TETA/C93A
	2	GE60/TETA/C93A/RM210
	2	GE60/TEPA
	2	GE60/TEPA/C93A
	2	GE60/TEPA/C93A/RM210
ADHERENCIA Y DUREZA	2	GE60/EDR148
	2	GE60/EDR148/C93A
	2	GE60/EDR148/C93A/RM210
	2	GE60/EDR176
	2	GE60/EDR176/C93A
	2	GE60/EDR176/C93A/RM210
ADHERENCIA Y DUREZA	2	GE60/D230
	2	GE60/D230/C93A
	2	GE60/D230/C93A/RM210
	2	GE60/T403
	2	GE60/T403/C93A
	2	GE60/T403/C93A/RM210
ADHERENCIA Y DUREZA	2	GE60/TETA
	2	GE60/TETA/C93A
	2	GE60/TETA/C93A/RM210
	2	GE60/TEPA
	2	GE60/TEPA/C93A
	2	GE60/TEPA/C93A/RM210

### Obtención de Film para Ensayo de Tensión Mecánica

La obtención de los film para este ensayo se menciona a continuación por medio de su procedimiento de elaboración.

- ✓ Con el uso del troquel se desarrollaron moldes rectangulares de material plástico (polipropileno), a partir de la Norma ASTM D 1474 (Figura 3.62).



**FIGURA 3.62 OBTENCIÓN DE MOLDE PLÁSTICO**

- ✓ Se procedió a pegar con brujita las probetas en los envases usados para la realización de los moldes. La Figura 3.63 muestra el procedimiento descrito.



**FIGURA 3.63 MOLDE PARA PROBETAS DE ENSAYO DE TENSIÓN**

- ✓ Realizado los moldes, se procedió a desarrollar la mezcla de silicona con catalizador para su posterior utilización. Se usaron 120 gr de silicona y 3,7 gr de catalizador para realizar un molde de probetas de tensión. En la Figura 3.64 se observa la mezcla.



**FIGURA 3.64 PREPARACIÓN DE MEZCLA DE SILICONA Y CATALIZADOR**

- ✓ Se comenzó a llenar los moldes con la solución. El molde fue colocada en el equipo de vacío para eliminar las burbujas en la mezcla por un tiempo prolongado de 2 horas, ya que estas pueden dañar la superficie de la cara de abajo del molde de la probeta de tensión. Ver Figura 3.65.



**FIGURA 3.65 LLENADO DEL MOLDE Y ELIMINACIÓN DE BURBUJAS**

- ✓ Eliminado las burbujas, se procedió a colocar el envase en el horno a una temperatura de 50 °C por 24 horas. Esto permitió obtener un molde macizo con el respectivo molde para probetas de ensayo de tensión como se observa en la Figura 3.66.



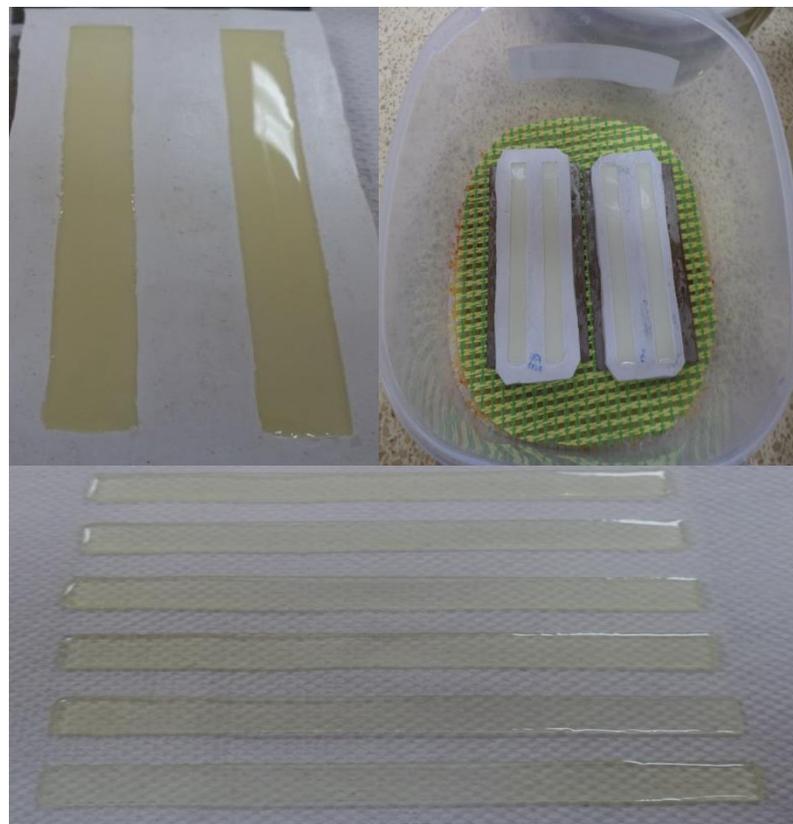
**FIGURA 3.66 COLOCACIÓN DE MOLDE EN EL HORNO**

- ✓ Se retiró del recipiente los moldes de probetas de tensión y se procedió a elaborar los compuestos convencionales, y nanocompuestos. La elaboración de estos se puede observar en la sección 3.3.2. Ver Figura 3.67.



**FIGURA 3.67 MOLDE PARA PROBETAS DE ENSAYO DE TENSIÓN**

- ✓ Obtenido los nanocompuestos se comenzó a llenar los moldes para elaborar los film. Como se mencionó anteriormente los nanocompuestos deben curarse por 7 días por ende deben ser almacenados en un espacio cerrado sin humedad. Pasado el tiempo de curado se procedió a retirar los film de los moldes para su utilización. Ver Figura 3.68.



**FIGURA 3.68 PROBETAS PARA ENSAYO DE  
TENSIÓN**

**Obtención de Probetas para Ensayo de Microscopia Óptica**

La elaboración de estas probetas tiene el mismo procedimiento descrito anteriormente en la obtención de film para ensayo de tensión. La particularidad radica en que estas probetas son circulares. La Figura 3.69 muestra la obtención de las probetas.



**FIGURA 3.69 PROCEDIMIENTO PARA OBTENCIÓN DE  
PROBETAS CIRCULARES**

### **3.4.1. Ensayo de Corrosión en Cámara Salina según Norma ASTM B 117**

Este ensayo permitió monitorear el progreso de la corrosión en las placas de acero con el recubrimiento. Además consintió la observación del recubrimiento más resistente a un ambiente corrosivo. El procedimiento de recubrimientos en las placas se detalla en la sección 3.4 en obtención de las probetas para el ensayo mencionado.

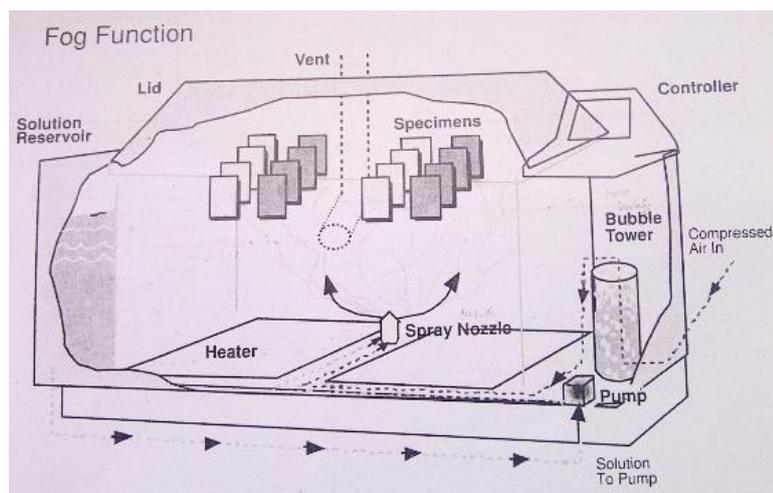
La Norma ASTM B 117 cubre el método y las condiciones para operar una Cámara Salina para ensayos de corrosión. Además indica la preparación de la solución que emulara el ambiente corrosivo.

#### **Función de la Cámara de Niebla Salina**

La cámara de niebla salina permite obtener una muy buena niebla de solución corrosiva en todas partes de la cámara (Figura 3.70). El sistema trabaja de la siguiente manera:

- La bomba envía la solución del reservorio a la boquilla rociadora.

- La velocidad de la bomba es seleccionada en el teclado de control. La tasa del flujo es mostrado en el contador de flujo.
- La válvula senoidal envía aire comprimido a través de la torre de burbuja y entonces la boquilla rociadora atomiza la solución.
- La presión del aire es regulada en el regulador de presión. La presión es mostrada en el manómetro de presión.
- La cámara se calienta manteniendo la temperatura en ella.



**FIGURA 3.70 FUNCIÓN DE CÁMARA SALINA**

### **Características de Ensayo de Niebla Salina**

Se cita las más importantes para el desarrollo del ensayo:

- ✓ Ensayo Niebla ASTM B 117.

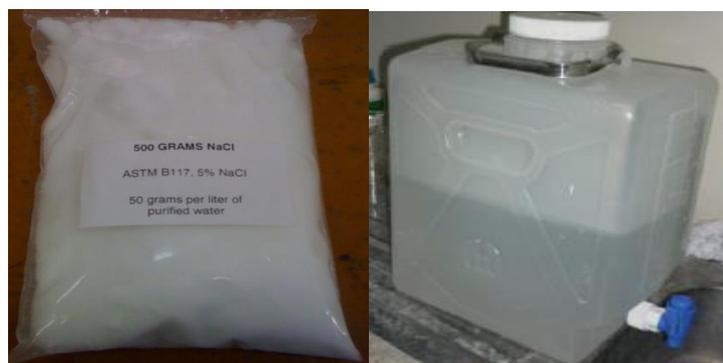
- ✓ Temperatura en la cámara 35 °C.
- ✓ Solución 5 % de cloruro de sodio.
- ✓ Tasa de Niebla de deposición 1 a 2 ml/h.
- ✓ Presión de rociado aproximadamente 15 Psi.
- ✓ Velocidad del flujo aproximadamente 0.3 ltr/h.
- ✓ Capacidad del reservorio 120 litros.
- ✓ Bastidores para probetas.

### **Preparación de Solución Salina**

Esta solución es muy importante en el ensayo y su preparación debe ser desarrollada correctamente según Norma ASTM B 117.

Los componentes para elaborar la solución son (Figura 3.71):

- ✓ Cloruro de Sodio al 5 %
- ✓ Agua Destilada



**FIGURA 3.71 COMPONENTES PARA PREPARAR SOLUCIÓN SALINA**

La solución salina se preparó disolviendo  $5 \pm 1$  partes de masa de cloruro de sodio en 95 partes de agua destilada. El procedimiento de preparación de solución salina se muestra en la Figura 3.72.



**FIGURA 3.72 PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN SALINA**

### **Procedimiento de Arranque de Ensayo de Corrosión**

Antes de empezar el ensayo de corrosión en la cámara de niebla salina se procedió a realizar lo siguiente:

- Revisar primeramente si el equipo está operativo. Además el equipo deberá estar limpio tanto interior como exterior. Ver Figura 3.73.



**FIGURA 3.73 EQUIPO DE ENSAYO DE CORROSIÓN**

- Obtenidas las placas con su recubrimiento (36 probetas) las cuales demoraron 7 días en curarse, se procedió a tapar los bordes con cinta adhesiva para evitar que la corrosión que se genera en los bordes afecte el análisis del recubrimiento en la superficie. Ver Figura 3.74.



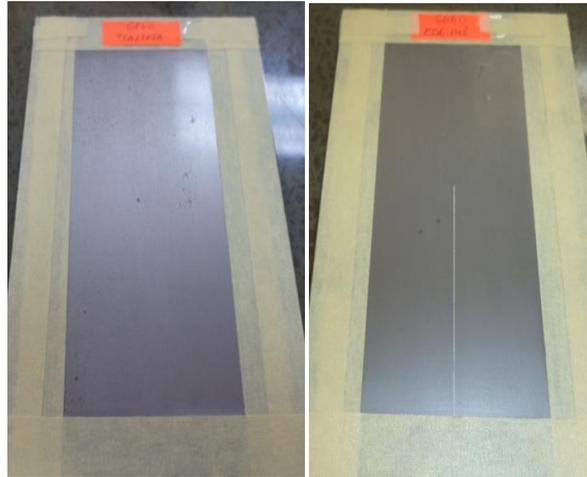
**FIGURA 3.74 PLACAS CUBIERTA LOS BORDES**

- Lograda la solución salina mencionada anteriormente, se comenzó a llenar el reservorio como se muestra en la Figura 3.75.



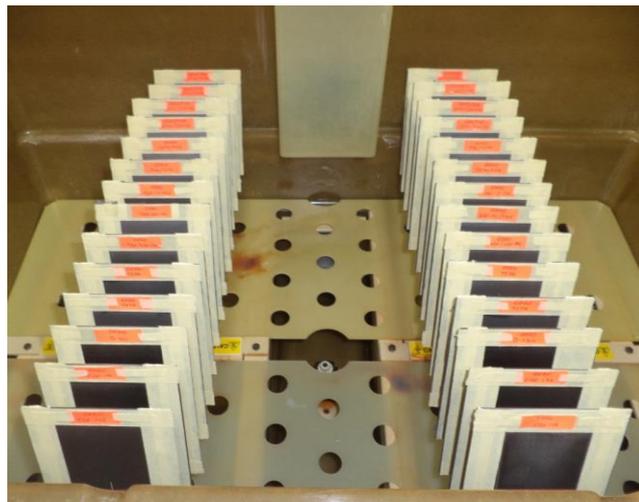
**FIGURA 3.75 LLENADO DEL RESERVORIO**

- Se prepararon dos tipos de probetas, una con raya y la otra sin raya de cada nanocompuesto a utilizar. El rayado de la probeta se realizó siguiendo la Norma ASTM D 1654. Ver Figura 3.76.



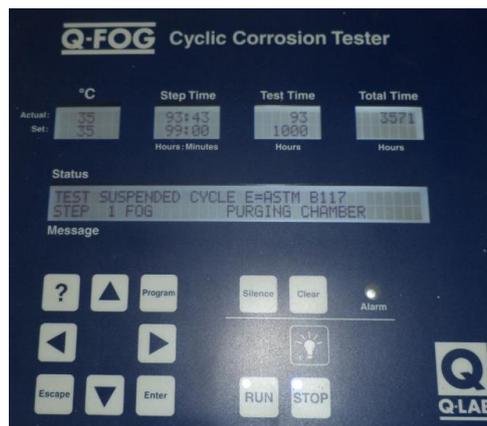
**FIGURA 3.76 PROBETA CON RAYA Y SIN RAYA**

- Realizado los pasos anteriores se procedió a colocar las probetas en los bastidores de la cámara. Se usaron dos bastidores una con las probetas rayadas de cada nanocompuesto y otro con las probetas sin rayar como se muestra en la Figura 3.77.



**FIGURA 3.77 COLOCACION DE PROBETAS**

- Finalmente se comenzó a realizar el ensayo cumpliendo con las especificaciones de la Norma y del ensayo de niebla salina. Ver Figura 3.78.



**FIGURA 3.78 ARRANQUE DEL ENSAYO DE  
CORROSIÓN**

En general se utilizaron 36 placas de acero con su recubrimiento para el ensayo de corrosión. Los recubrimientos o mezclas utilizadas se citan en las secciones 3.3.2 y 3.4. El desarrollo del ensayo tuvo una duración de 192 horas monitoreando diariamente el progreso de corrosión y falla de las probetas.

### 3.4.2. Ensayo de Adherencia según Norma ASTM D 3359

El procedimiento de ensayo de adherencia se rige según la Norma ASTM D 3359, el cual es el siguiente:

- Seleccionar un área libre de manchas e imperfecciones del sustrato.
- Asegurar que la superficie este limpia y seca (valores extremos de temperatura y humedad relativa pueden afectar la adherencia de la cinta).
- Colocar el sustrato sobre una base firme y hacer cortes cruzados usando el aparato de corte con cuchilla de dientes múltiples.
- Para recubrimientos que tengan hasta 50 micrómetros de espesor de película seca, usar la cuchilla que tenga 11 dientes y 1 mm de separación entre dientes y realizar el corte.
- Para recubrimientos que tengan un espesor de película seca entre 50 micrómetros y 125 micrómetros, usar una cuchilla que tenga 6 dientes y 2mm de separación entre dientes y realizar el corte.

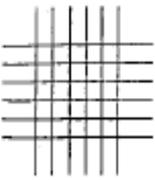
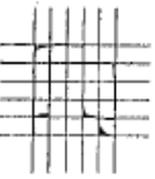
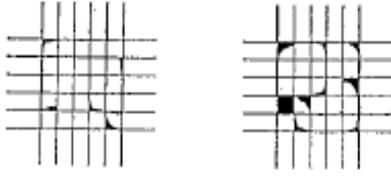
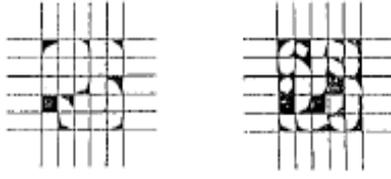
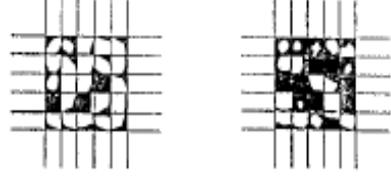
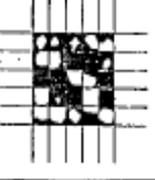
- Hacer los cortes en el recubrimiento con un movimiento firme y presión suficiente para que el borde cortante alcance el panel.
- Revisar los bordes cortantes de las cuchillas y si es necesario limpiarlos, hacer entonces los cortes adicionales a 90° y centrados en los cortes anteriores.
- Proceder a limpiar con el cepillo el área de los cortes para remover cualquier residuo de recubrimiento levantado. Si el metal no ha sido alcanzado, hacer otro corte igual en otra área hasta alcanzar el metal.
- Cortar un pedazo de cinta de adherencia de aproximadamente 75 mm de largo.
- Colocar el centro de la cinta sobre la rejilla formada por el corte y sus alrededores, dejando un extremo libre, después alisarla con el dedo. Luego frotar fuertemente con el borrador del extremo de un lápiz para lograr un buen contacto.
- Esperar 60 a 120 segundos después de la aplicación y retirar la cinta de la superficie halando rápidamente del extremo libre formando un ángulo de aproximadamente 180°.
- Inspeccionar el área de la rejilla para comprobar si hay remoción del recubrimiento del panel, comparar la cuadrícula resultante con las que se indican en la tabla siguiente,

seleccionar la más parecida y calificar el porcentaje de adherencia entre los valores de 35% y 100%.



**FIGURA 3.79 ENSAYO DE ADHERENCIA**

**TABLA 12**  
**CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYO DE**  
**ADHERENCIA [50].**

CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

### 3.4.3. Ensayo de Dureza según Norma ASTM D 1474

La Norma ASTM D 1474 establece el método de ensayo para determinar la dureza de los film. El equipo utilizado es u juego de lápices con dureza de HB hasta 6H. El procedimiento es el siguiente:

- Afilar los lápices dejando la mina desnuda de modo que se extienda 6 mm fuera de la madera.
- Lijar el extremo de la mina perpendicularmente a su eje hasta que este plano, liso y de sección circular.
- El lápiz se sostiene firmemente a un ángulo de 45° y se empuja sobre la película en dirección contraria del probador.
- El lápiz se pasa por la superficie comenzando desde el más suave y avanzando de uno en uno hasta el más duro hasta que uno de estos rompa la película de recubrimiento aplicada sobre el sustrato.



**FIGURA 3.80 ENSAYO DE DUREZA**

#### **3.4.4. Ensayo de Tensión Mecánica según Norma ASTM D 882**

Para este ensayo solo se usaron 4 clases de nanocompuestos tales como GE60/D230, GE60/D230/C93A, GE60/T403, GE60/T403/C93A donde su preparación se menciona en la sección 3.3.2 y las probetas a utilizarse en la sección 3.4. En el ensayo de tensión mecánica se utilizó el programa TRAPEZIUM para obtener

los resultados. El procedimiento de ensayo de tensión mecánica se detalla a continuación:

- Obtenidas las probetas de tensión (6 de cada nanocompuesto) se procedió a medir con la ayuda de un calibrador Vernier el espesor y el ancho de la probeta. Se hicieron 3 mediciones de cada una en diferentes partes para escoger las mediciones más bajas cuyos datos serán usados en el ensayo.
- Marcar las probetas una distancia de 50 mm de longitud calibrada en la sección uniforme. Se usó un marcador para superficies lisas y el calibrador Vernier para realizar el procedimiento.
- Se comenzó a utilizar el programa TRAPEZIUM para ingresar los espesores y anchos de cada compuesto convencional y nanocompuesto. Luego se procedió a configurar los parámetros de ensayo como son la velocidad (2 mm/min) y la fuerza (10 KN).
- Se colocaron las probetas una por una en el equipo de ensayo de tensión sujetándolas en las mordazas superior e inferior hasta las marcas realizadas y así obtener la longitud calibrada para el ensayo.

- Estando listo los parámetros de ensayo en el programa y las probetas en las mordazas, se empezó el ensayo y al momento de fallar la probeta el procedimiento se detiene presionando STOP en el programa.
- Este proceso se utilizó para cada una de las probetas y las propiedades mecánicas serán dado por el programa TRAPEZIUM para su posterior análisis.

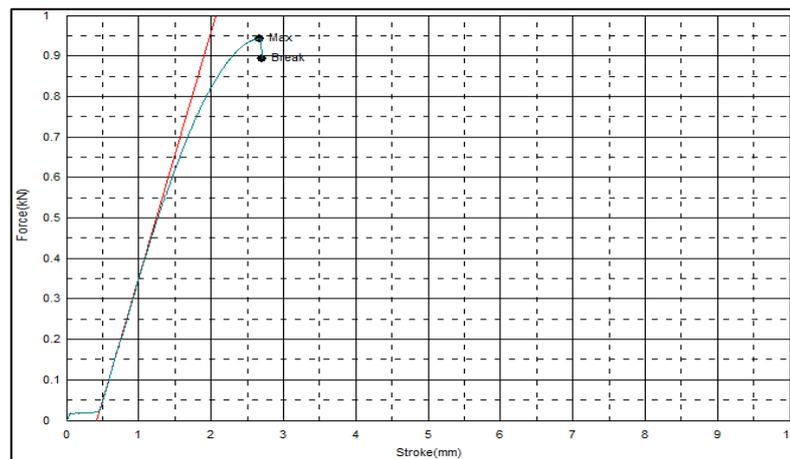
La Figura 3.81 muestra el procedimiento.



Specimen N	Thickness	Width	Gauge Leng	
1 - 1	MUESTRA1	1,7300	12,6100	50,0000
1 - 2	MUESTRA2	1,6100	12,8100	50,0000
1 - 3	MUESTRA3	2,1500	12,8400	50,0000
1 - 4	MUESTRA4	1,3200	12,6700	50,0000
1 - 5	MUESTRA5	1,7500	12,7500	50,0000
1 - 6	MUESTRA6	1,9800	12,6400	50,0000
1 - 7	MUESTRA7	1,3000	12,5500	50,0000
1 - 8	MUESTRA8	1,4600	12,7500	50,0000
1 - 9	MUESTRA9	1,1900	12,5300	50,0000
1 - 10	MUESTRA10	1,3100	12,5400	50,0000
1 - 11	14-0823-3	1,3300	12,6300	50,0000
1 - 12	14-0823-4	1,3800	12,5400	50,0000
1 - 13	14-0823-5	1,3400	12,5300	50,0000

Specimen N	Thickness	Width	Gauge Leng
1 - 1			
1 - 2			
1 - 3			
1 - 4			
1 - 5			



**FIGURA 3.81 ENSAYO DE TENSIÓN MECÁNICA**

### **3.4.5. Ensayo en Medio Corrosivo con Ciclo de Humedad**

Este ensayo consistió en observar la propagación de la corrosión en las placas y ver el efecto del inhibidor de corrosión y de la mezcla arcilla/inhibidor contra la corrosión. Para este ensayo se utilizó la

cámara de niebla salina. A continuación se detalla el procedimiento del ensayo:

- Se procedió a cortar placas rectangulares de 7,5 x 5 cm de largo y ancho respectivamente. El proceso de lijado de la placa es igual a la mencionada en la sección 3.2. Ver Figura 3.82.



**FIGURA 3.82 LIJADO DE PLACAS RECTANGULARES**

- Luego del lijado se limpiaron las placas con un paño y acetona, posteriormente se almacenaron en los envases con gel de sílice para evitar que se corroen debido a la humedad en el laboratorio. Ver Figura 3.83.



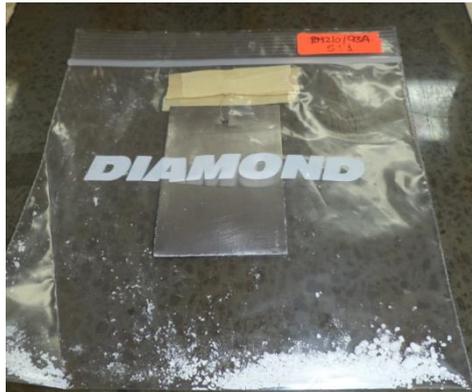
**FIGURA 3.83 LIMPIEZA Y ALMACENAMIENTO DE PLACAS RECTANGULARES**

- Se comenzó a pesar las respectivas concentraciones como el inhibidor y la mezcla arcilla/inhibidor en diferentes proporciones en la balanza (Figura 3.84). Las concentraciones utilizadas en este ensayo se detallan más adelante.



**FIGURA 3.84 PESADO DE CONCENTRACIONES**

- Las concentraciones fueron colocadas en fundas plásticas con cierre hermético (Ziploc) y las placas guindadas dentro de la funda con ayuda de nylon y cinta sin tocar la solución.



**FIGURA 3.85 COLOCACIÓN DE PLACAS EN FUNDAS PLÁSTICAS**

- Las probetas listas fueron guindadas dentro de la cámara de niebla salina y posteriormente empezó el ensayo. La Figura 3.86 muestra lo antes mencionado.



**FIGURA 3.86 COLOCACIÓN DE PROBETAS A ENSAYARSE EN MEDIO CORROSIVO**

En general se usaron 10 placas rectangulares y fundas plásticas obteniendo dos muestras de cada concentración con el afán de obtener un mejor análisis. Las muestras se distribuyeron de la siguiente manera, 2 solamente con inhibidor, 2 con la mezcla arcilla/inhibidor con relación 5% C93A de 0,5 gr RM210, 2 con relación 10% C93A de 0,5 gr RM210, 2 con relación 20% C93A de 0,5 gr RM210 y 2 sin nada para control.

El ensayo en medio corrosivo tuvo una duración de 14 días dentro de la cámara. La Figura 3.87 muestra todas las muestras.



**FIGURA 3.87 MUESTRAS PARA ENSAYO EN MEDIO CORROSIVO**

### Concentraciones

En la Tabla 13 se detalla las concentraciones utilizadas del ensayo en medio corrosivo.

**TABLA 13**

### CONCENTRACIONES DE ENSAYO EN MEDIO CORROSIVO

MEZCLA	CONCENTRACIÓN (gr)
INHIBIDOR RM210	0,5
5% C93A de RM210	0,525
10% C93A de RM210	0,55
20% C93A de RM210	0,6

### 3.4.6. Ensayo de Dispersión en film usando Microscopio Óptico Polarizado

Este ensayo fue realizado con el objetivo de observar la dispersión de las arcillas dentro de la matriz polimérica. Se realizaron 4 tipos de nanocompuestos GE60/D230, GE60/D230/C93A, GE60/T403 y GE60/T403/C93A. El procedimiento es el siguiente:

- ✓ Realizado las probetas para ensayo (Sección 3.4), se procedió a lijar las muestras con lija 1200 para borrar marcas del molde y así obtener un acabado transparente. Ver Figura 3.88.



**FIGURA 3.88 LIJADO DE PROBETAS CIRCULARES**

- ✓ Con ayuda del equipo de pulido se comenzó a dar un acabado perfecto en forma de espejo a las probetas. Esto se produjo con la utilización de una crema alúmina. Este procedimiento se realizó con el afán de tener una buena visibilidad de la arcilla en el microscopio. Ver Figura 3.89.



**FIGURA 3.89 PULIDO DE PROBETAS CIRCULARES**

- ✓ Las probetas fueron llevadas al microscopio para el análisis de dispersión de las arcillas.

# CAPÍTULO 4

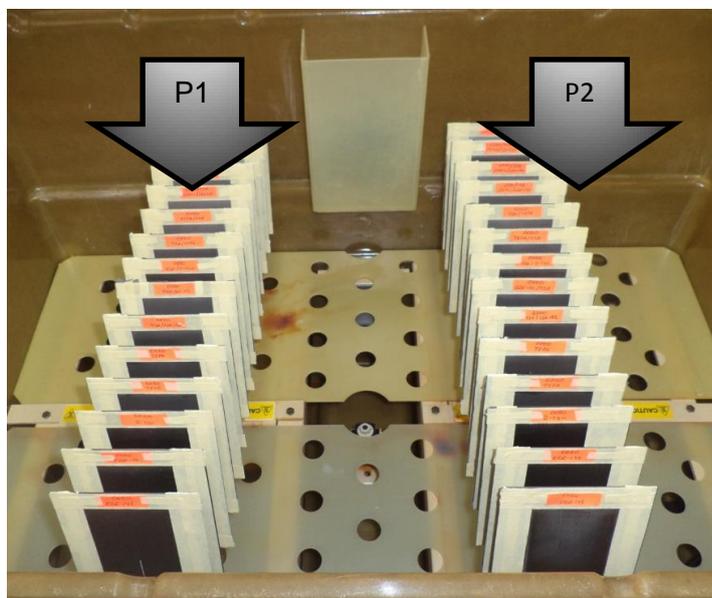
## 4. ANALISIS Y RESULTADOS.

### 4.1. Ensayo de Corrosión en Cámara Salina ASTM B 117.

El ensayo de corrosión en cámara salina efectuada a las placas de acero de bajo carbono con recubrimiento de diferentes nanocompuestos (sección 3.3) tuvo una duración de 7 días (168 horas). Durante este tiempo se analizó el progreso de la corrosión y resistencia anotando las horas que dura el recubrimiento. El monitoreo se realizó día a día y cada vez que fallaba el recubrimiento se la retiraba.

Las probetas antes de ingresar a la cámara se midieron sus espesores en la superficie de la placa con el objetivo de tener un análisis correcto de resistencia a la corrosión del film. Las muestras

fueron rotuladas de forma clara y segura de modo que resista el tiempo de prueba. Se introdujeron dos placas por cada nanocompuesto a analizar, las cuales fueron denominadas P1 y P2, siendo P1 las placas rayadas y P2 las placas sin rayas. Además se usaron las nomenclaturas RC si resiste a la corrosión y FALLA si el recubrimiento ha fallado. Ver Figura 4.1.



**FIGURA 4.1 POSICIÓN DE LAS PLACAS**

**Resultados de Ensayo de Corrosión de Compuestos Convencionales**

Los compuestos convencionales son muestras elaboradas a base de resina epóxica y amina alifática. A continuación se detallan los resultados.

### GE60/EDR148

**TABLA 14**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/EDR148**

GE60 EDR148	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	2 mils	2 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	FALLA



**FIGURA 4.2 ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/EDR148**

**GE60/EDR176****TABLA 15****VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/EDR176**

GE60 EDR176	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	2 mils	2,5 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	FALLA

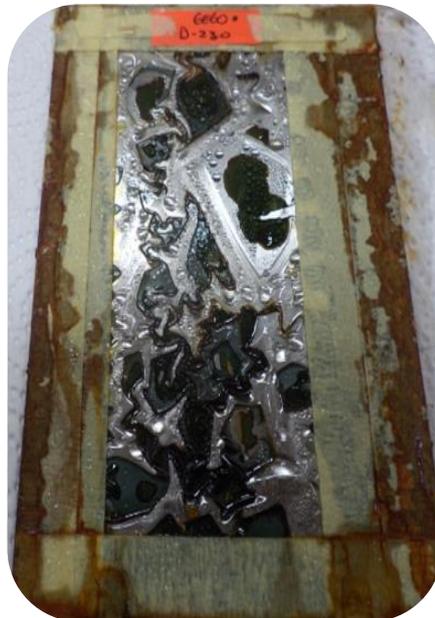
**FIGURA 4.3 ENSAYO DE CORROSIÓN DE GEE60/EDR176**

**GE60/D230**

**TABLA 16**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/D230**

GE60 D230	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	2,5 mils	2 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	FALLA



**FIGURA 4.4 ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/D230**

**GE60/T403****TABLA 17****VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/T403**

GE60 T403	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	1 mils	1,5 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	RC	RC
<b>96</b>	FALLA	FALLA

**FIGURA 4.5 ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/T403**

**GE60/TETA****TABLA 18****VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/TETA**

GE60 TETA	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	2,5 mils	2,5 mils
<b>Horas</b>	2,5 mils	2,5 mils
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	FALLA

**FIGURA 4.6 ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/TETA**

**GE60/TEPA****TABLA 19****VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN PARA GE60/TEPA**

<b>GE60 TEPA</b>	<b>Placas</b>	
	<b>P1</b>	<b>P2</b>
<b>Espesor</b>	2 mils	2 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	FALLA

**FIGURA 4.7 ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/TEPA**

## Resultados de Ensayo de Corrosión de los Nanocompuestos con Arcilla

Estos nanocompuestos fueron elaborados a base de resina epóxica, amina alifática y arcilla. Los resultados se muestran a continuación.

### GE60/EDR148/C93A

TABLA 20

#### VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/EDR148/C93A

GE60 EDR184 5% C93A	Placas	
	P1	P2
Espesor	2,5 mils	3 mils
Horas		
24	RC	RC
48	RC	RC
72	FALLA	FALLA



**FIGURA 4.8 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/EDR148/C93A**

**GE60/EDR176/C93A**

**TABLA 21**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/EDR176/C93A**

GE60 EDR176 5% C93A	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	3 mils	3 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	FALLA



**FIGURA 4.9 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/EDR176/C93A**

**GE60/D230/C93A**

**TABLA 22**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/D230/C93A**

GE60	D230	5%	C93A	Placas	
				P1	P2
<b>Espesor</b>				3 mils	0,63 mils
<b>Horas</b>					
24				RC	RC
48				RC	RC
72				FALLA	RC
96					RC
120					RC
144					FALLA



**FIGURA 4.10 ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/D230/C93A**

**GE60/T403/C93A**

TABLA 23

## VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/T403/C93A

GE60	T403	5%	C93A	Placas	
				P1	P2
<b>Espesor</b>				2 mils	0,86 mils
<b>Horas</b>					
<b>24</b>				RC	
<b>48</b>				RC	RC
<b>72</b>				RC	RC
<b>96</b>				FALLA	RC
<b>120</b>					RC
<b>144</b>					RC
<b>168</b>					FALLA



FIGURA 4.11 ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/T403/C93A

**GE60/TETA/C93A****TABLA 24****VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/TETA/C93A**

GE60 TETA 5% C93A	Placas	
	P1	P2
Espesor	2 mils	2 mils
Horas		
24	RC	RC
48	RC	RC
72	FALLA	FALLA



**FIGURA 4.12 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/TETA/C93A**

**GE60/TEPA/C93A**

**TABLA 25**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE GE60/TEPA/C93A**

GE60 TEPA 5% C93A	Placas	
	P1	P2
Espesor	2 mils	2 mils
Horas		
24	RC	RC
48	RC	RC
72	FALLA	FALLA



**FIGURA 4.13 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/TEPA/C93A**

**Resultados de Ensayo de Corrosión de Nanocompuestos con Arcilla e Inhibidor de Corrosión**

**GE60/EDR148/C93A/RM210**

**TABLA 26**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/EDR148/C93A/RM210**

GE60 EDR148 5% C93A 1% RM210	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	2 mils	3 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	FALLA



**FIGURA 4.14 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/EDR148/C93A/RM210**

**GE60/EDR176/C93A/RM210**

**TABLA 27**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/EDR176/C93A/RM210**

GE60 EDR176 5% C93A 1% RM210	Placas	
	P1	P2
Espesor	3 mils	2 mils
Horas		
24	RC	RC
48	RC	RC
72	FALLA	FALLA



**FIGURA 4.15 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/EDR176/C93A/RM210**

**GE60/D230/C93A/RM210**

**TABLA 28**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/D230/C93A/RM210**

GE60	D230	5% C93A	1%	RM210	Placas	
					P1	P2
<b>Espesor</b>					2 mils	1,06 mils
<b>Horas</b>						
<b>24</b>					RC	RC
<b>48</b>					RC	RC
<b>72</b>					FALLA	RC
<b>96</b>						RC
<b>120</b>						FALLA



**FIGURA 4.16 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/D230/C93A/RM210**

**GE60/T403/C93A/RM210**

**TABLA 29**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN PARA  
GE60/T403/C93A/RM210**

GE60 T403 5% C93A 1% RM210	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	2,5 mils	1,17 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	RC
<b>96</b>		RC
<b>120</b>		RC
<b>144</b>		FALLA



**FIGURA 4.17 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/T403/C93A/RM210**

**GE60/TETA/C93A/RM210**

**TABLA 30**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/TETA/C93A/RM210**

GE60 TETA 5% C93A 1% RM210	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	2 mils	2 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	FALLA



**FIGURA 4.18 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/TETA/C93A/RM210**

**GE60/TEPA/C93A/RM210**

**TABLA 31**

**VALORES DE ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/TEPA/C93A/RM210**

GE60 TEPA 5% C93A 1% RM210	Placas	
	P1	P2
<b>Espesor</b>	3 mils	2,5 mils
<b>Horas</b>		
<b>24</b>	RC	RC
<b>48</b>	RC	RC
<b>72</b>	FALLA	FALLA

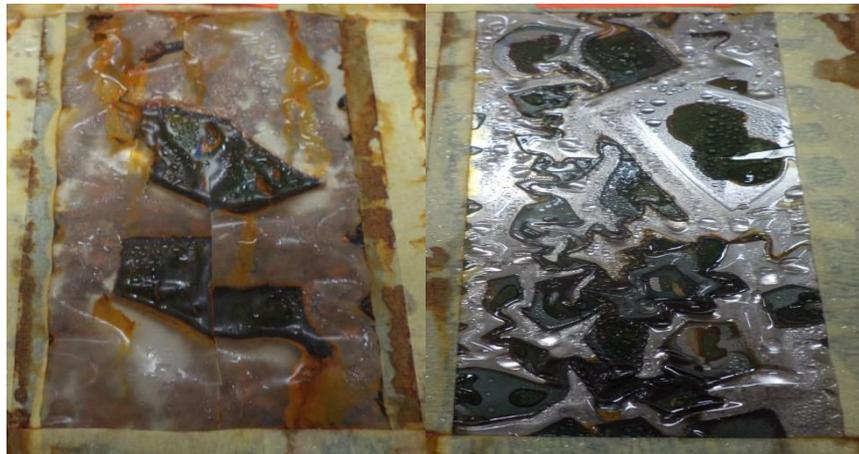


**FIGURA 4.19 ENSAYO DE CORROSIÓN DE  
GE60/TEPA/C93A/RM210**

## **Análisis de Resultados de Ensayo de Corrosión**

### **Compuestos Convencionales**

En general los compuestos convencionales formados por resina epóxica y amina alifática tuvieron una resistencia a la corrosión de 48 horas menos el compuesto GE60/T403 que tuvo una resistencia de 72 horas. Los recubrimientos fallaron debido a la gran absorción de agua salada que el recubrimiento adquiere por ende hace que falle más rápido. Esto dice que los compuestos convencionales no son buenos en protección contra la corrosión en metales como indican los resultados tanto la probeta P1 y P2. La Figura 4.20 muestra la falla de los compuestos convencionales.



**FIGURA 4.20 PLACA P1 (IZQUIERDA) Y P2 (DERECHA)  
DE COMPUESTO CONVENCIONAL**

### **Nanocompuesto con Arcilla**

Los resultados obtenidos muestra que todos los nanocompuestos con espesores  $\pm 2$  mils fallaron a las 72 horas dando como un análisis que estos recubrimientos tienen una resistencia a la corrosión muy pobre por lo que no se considerarían como protectores contra la corrosión. Además indica que la adición de la arcilla no interfiere mucho en la matriz epóxica para obtener un mejor rendimiento del recubrimiento. Ver Figura 4.21



**FIGURA 4.21 NANOCOMPUESTO CON ARCILLA CON  
ESPESOR  $\pm 2$  MILS**

El efecto de la adición de la arcilla en la matriz epóxica es muy importante en la resistencia a la corrosión en los nanocompuesto con espesor  $\pm 1$  mils dando como resultado que los nanocompuestos GE60/D230/C93A tuvieron una duración de 120

horas (Figura 4.22) mientras que el nanocompuesto GE60/T403/C93A se observó que su resistencia a la corrosión es de 144 horas (Figura 4.23). Estos nanocompuestos evitan que la corrosión sea rápida en la placa metálica dando una mejor resistencia que el resto de los nanocompuesto.



**FIGURA 4.22 NANOCOMPUESTO GE60/D230/C93A CON  
ESPESOR  $\pm$  1 MILS**



**FIGURA 4.23 NANOCOMPUESTO GE60/T403/C93A CON  
ESPESOR  $\pm$  1 MILS**

### **Nanocompuestos con Arcilla e Inhibidor**

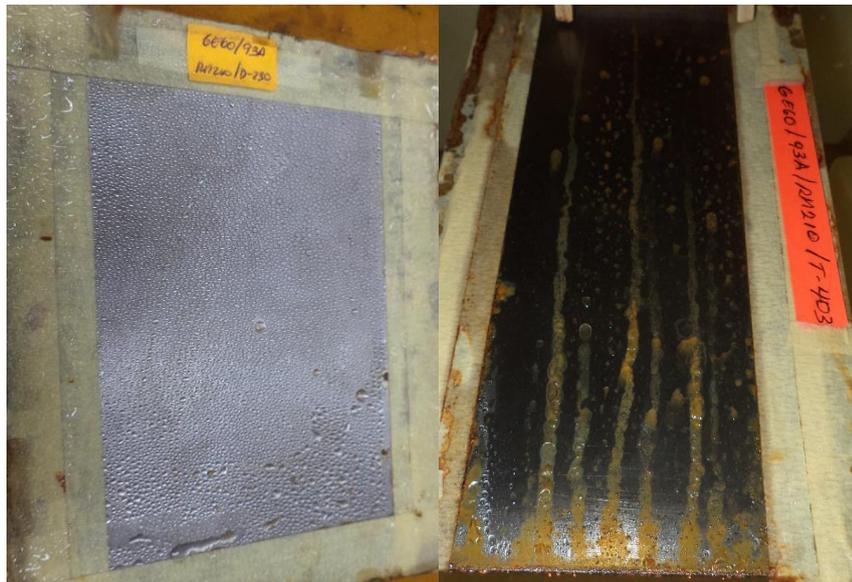
La adición de la mezcla arcilla/inhibidor en la matriz epóxica tiene el objetivo de dar una mayor resistencia a la corrosión por el efecto del inhibidor que es un compuesto utilizado contra la corrosión. Los nanocompuestos de espesores  $\pm 2$  mils muestran una duración de 48 horas a la corrosión por ende indica que la adición de la arcilla e inhibidor no tuvo mayor efecto (Figura 4.24). Esto indica que tanto la arcilla actuando sola y con la agregación del inhibidor dan unos resultados bajos (horas) en resistencia a la corrosión.



**FIGURA 4.24 NANOCOMPUESTO CON ARICILLA E INHIBIDOR  
CON ESPESOR  $\pm 2$  MILS**

En cambio con los nanocompuestos con espesores  $\pm 1$  mils se logró una mayor duración con la mezcla GE60/D230/C93A/RM210 y GE60/T403/C93A/RM210 teniendo una resistencia de 96 horas y

120 horas respectivamente (Figura 4.25). La utilización de estos nanocompuestos a menor espesor será factible para la corrosión.



**FIGURA 4.25 NANOCOMPUESTOS GE60/D230/C93A/RM210 Y  
GE60/T403/C93A/RM210 CON ESPESOR  $\pm$  1 MILS**

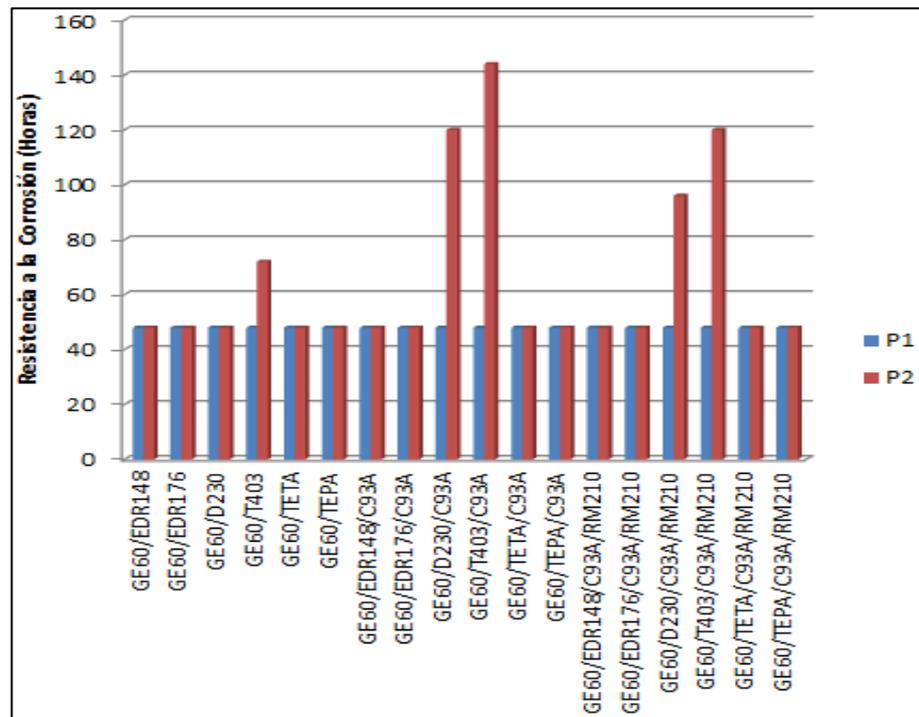
**Resistencia a la Corrosión de todos los Compuestos Convencionales y Nanocompuestos empleados.**

La resistencia a la corrosión es una propiedad importante en los nanocompuestos para su aplicación en el campo industrial. La Tabla 32 indica todos los valores (horas) de resistencia a la corrosión de los compuestos convencionales, nanocompuestos con adición de arcilla y nanocompuestos con inclusión de arcilla e

inhibidor desarrollados en el proyecto de graduación cuyos valores serán representados en la Figura 4.26 para analizar su propiedad en protección contra la corrosión.

**TABLA 32**  
**RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE COMPUESTOS**  
**CONVENCIONALES Y NANOCOMPUESTOS**

COMPUESTO	RESISTENCIA (HORAS)	
	P1	P2
GE60/EDR148	48	48
GE60/EDR176	48	48
GE60/D230	48	48
GE60/T403	48	72
GE60/TETA	48	48
GE60/TEPA	48	48
GE60/EDR148/C93A	48	48
GE60/EDR176/C93A	48	48
GE60/D230/C93A	48	120
GE60/T403/C93A	48	144
GE60/TETA/C93A	48	48
GE60/TEPA/C93A	48	48
GE60/EDR148/C93A/RM210	48	48
GE60/EDR176/C93A/RM210	48	48
GE60/D230/C93A/RM210	48	96
GE60/T403/C93A/RM210	48	120
GE60/TETA/C93A/RM210	48	48
GE60/TEPA/C93A/RM210	48	48



**FIGURA 4.26 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE  
COMPUESTOS CONVENCIONALES Y NANOCOMPUESTOS**

Los valores de resistencia a la corrosión de la Tabla 32 da como indicio que los nanocompuesto GE60/D230/C93A y GE60/T403/C93A llegaron a obtener una alta resistencia de 120 horas y 144 horas con espesores  $\pm 1$  mils, lo que prueba que existe una mayor compatibilidad de la arcilla dentro de la matriz epóxica. Además de los nanocompuestos GE60/D230/C93A/RM210 y GE60/T403/C93A/RM210 obtuvieron una resistencia aceptable de

96 y 120 horas lo que indica que la arcilla y el inhibidor mejoraron la propiedad del compuesto convencional.

### **Ensayo de Corrosión de Recubrimientos en Placas Estandarizadas**

Fue necesario desarrollar este ensayo para realizar una comparación con los resultados anteriores de corrosión. El tiempo de duración del ensayo fue de 8 horas. Como se obtuvo mejores resultados con las aminas D230 y T403 se procedió a elaborar muestras con estas clases de aminas tanto puros, con arcilla y arcilla e inhibidor. El proceso de elaboración de las muestras es la misma descrito anteriormente con la diferencia de que las placas a usar no es necesario realizarle un tratamiento superficial. Las placas con su recubrimiento convencional y nanocompuesto se muestran en la Figura 4.27.



**FIGURA 4.27 PLACAS ESTANDARIZADAS CON RECUBRIMIENTO CONVENCIONAL Y NANOCOMPUESTO A ENSAYARSE**

A continuación se muestra los resultados de resistencia contra la corrosión monitoreados cada una hora.



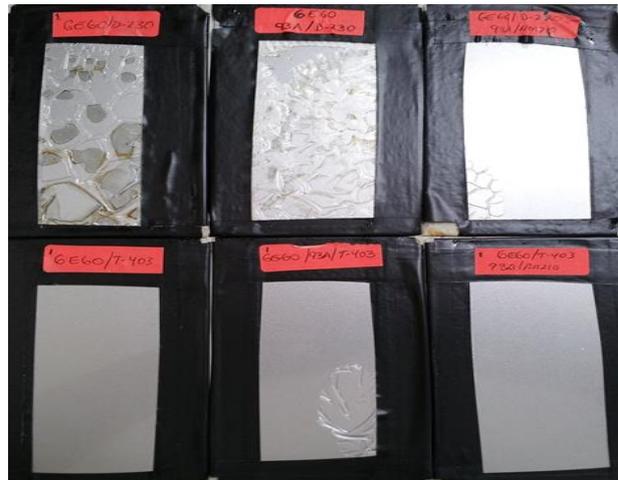
**FIGURA 4.28 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN A 1 HORA**

La Figura 4.28 muestra la resistencia contra la corrosión a una hora expuesta al ambiente salino dentro de la cámara de niebla salina. Se observa un deterioro del sistema GE60/D230 y se corrobora el resultado de las sistemas convencionales realizadas anteriormente con una resistencia a la corrosión baja.



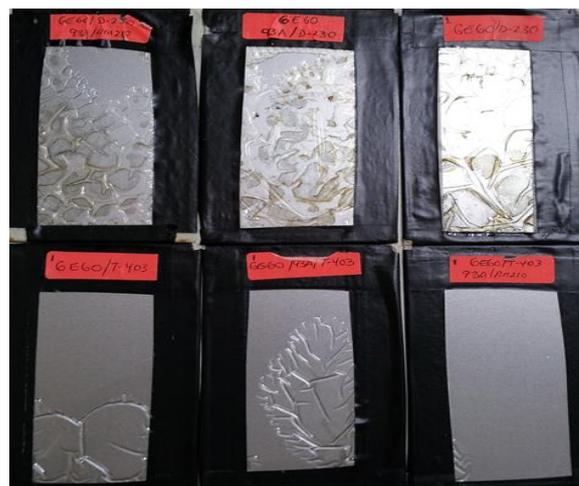
**FIGURA 4.29 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN A 2 HORAS**

Como se observa en la Figura 4.29 el sistema convencional GE60/D230 se deterioró del todo aproximadamente a las dos horas, mientras que la mezcla GE60/D230/93A se comenzó a deteriorar de a poco, lo que puede indicar que a partir de la próxima hora se puede deteriorar del todo.



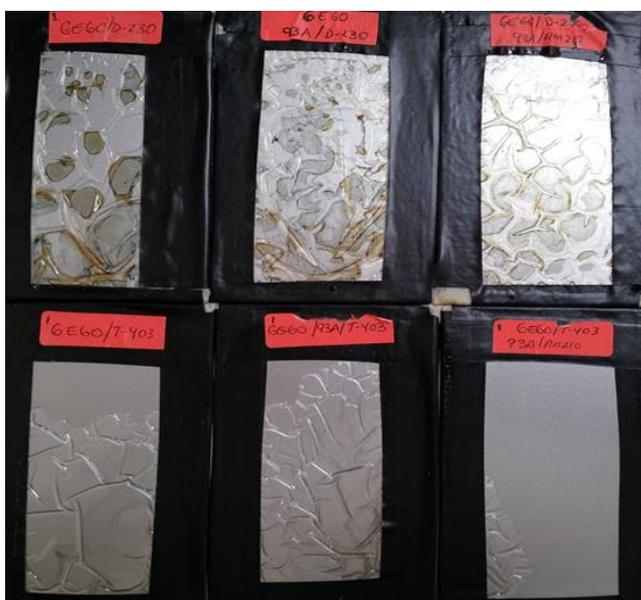
**FIGURA 4.30 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN A LAS 3 HORAS**

La Figura 4.30 muestra el deterioro total de la mezcla GE60/D230/93A, además un leve deterioro de las mezclas GE60/D230/93A/RM210 y GE60/T403/93A.



**FIGURA 4.31 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN A LAS 4 HORAS**

En la Figura 4.31 se observa que a las 4 horas de exposición dentro de la cámara salina la mezcla GE60/D230/93A/RM210 y la GE60/T403/93A se deterioraron en toda la superficie de la placa, mientras que el sistema GE60/T403 se deteriora de a poco indicando que a la próxima hora se expande del todo el recubrimiento.



**FIGURA 4.32 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN A LAS 5 HORAS**

La Figura 4.32 se observa que a las 5 horas el sistema GE60/T403 se deterioró del todo, mientras que la mezcla GE60/T403/93A/RM210 comienza a dañarse de a poco en la parte inferior de la placa.



**FIGURA 4.33 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN A LAS 8 HORAS**

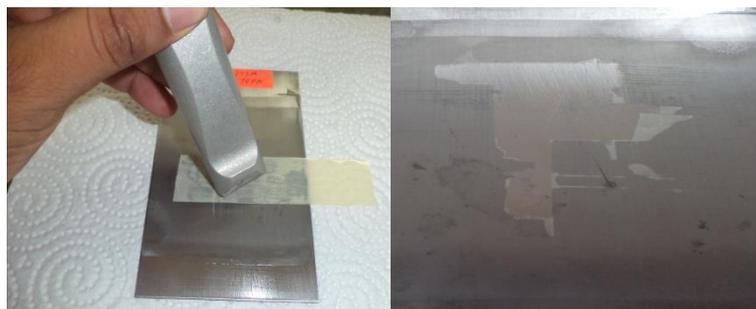
Como se puede observar en la Figura 4.33 la mezcla GE60/T403/93A/RM210 se deterioró más o menos mientras que el resto de mezclas se deterioraron del todo, dando un resultado aceptable de resistencia a la corrosión de 8 horas.

Un análisis general del ensayo de corrosión utilizando placas estandarizadas muestra que la adición de la mezcla 93A/RM210 dentro del sistema epóxico GE60/T403 genera una protección contra la corrosión, indicando una buena compatibilidad de los componentes o una buena distribución de las mismas llegando a resistir 8 horas contra la corrosión en comparación con el resto de nanocompuestos elaborados con amina D230 que obtuvieron una resistencia de 4 horas.

#### 4.2. Ensayo de Adherencia ASTM D 3359

La adherencia del recubrimiento en la placa metálica fue de interés importante ya que por medio de él se analiza que compuesto convencional o nanocompuesto se adhiere mejor a la superficie de placa metálica y por consiguiente da una pauta de lo que pudo suceder en la resistencia a la corrosión del recubrimiento en un ambiente salino.

Para llevarse a cabo el ensayo de adherencia las placas tuvieron que someterse a un tratamiento superficial como de lijado y de limpieza, además al aplicar el recubrimiento en la superficie esta tuvo que desarrollar un proceso de curado por 7 días. El ensayo de adherencia dio como resultado el porcentaje de área removida del recubrimiento (Figura 4.34), el cual se compara con la Tabla 12.

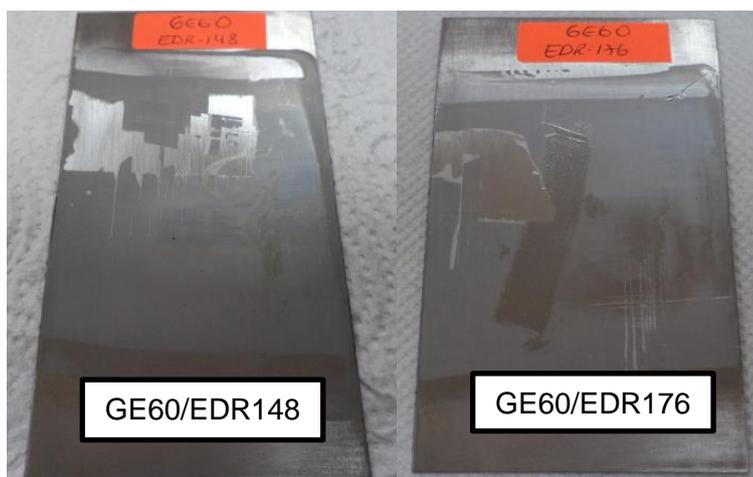


**FIGURA 4.34 PROCESO DE ADHERENCIA DE NANOCOMPUESTOS**

## Resultados de Ensayo de Adherencia de Compuestos Convencionales

**TABLA 33****ADHERENCIA DE COMPUESTOS CONVENCIONALES**

Muestra	Clasificación	% de Area Removida
GE60/EDR148	0B	>65%
GE60/EDR176	0B	>65%
GE60/D230	0B	>65%
GE60/T403	0B	>65%
GE60/TETA	0B	>65%
GE60/TEPA	0B	>65%





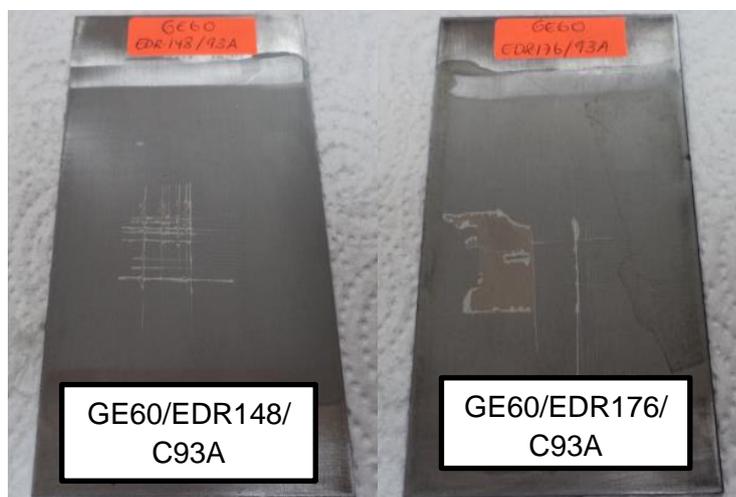
**FIGURA 4.35 ADHERENCIA DE COMPUESTOS  
CONVENCIONALES**

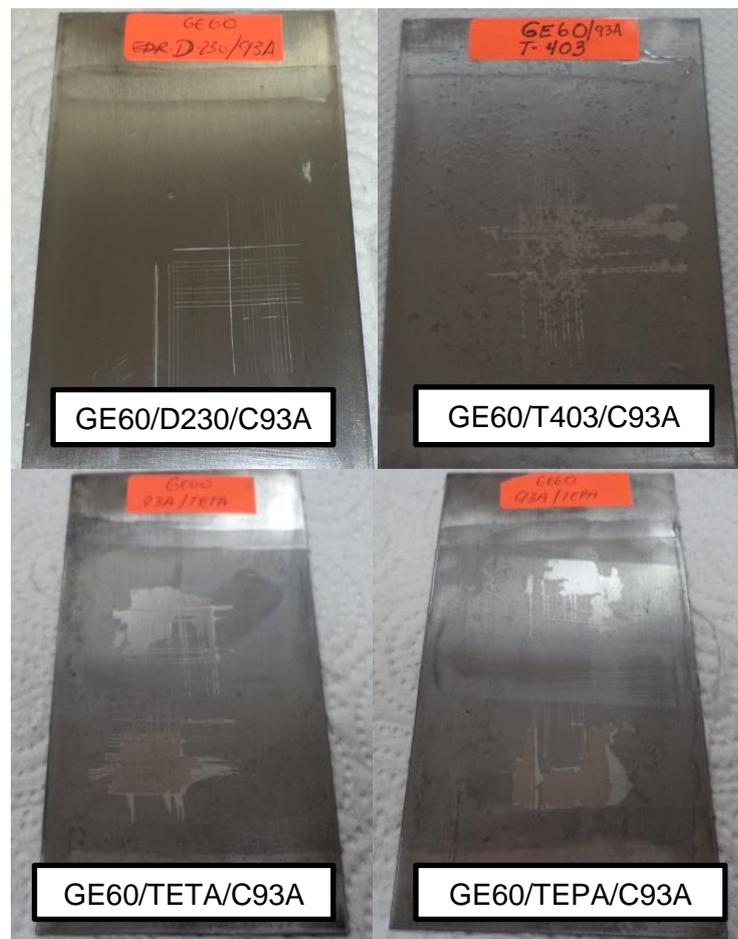
**Resultados de Ensayo de Adherencia de Nanocompuesto con  
Arcilla**

TABLA 34

## ADHERENCIA DE NANOCOMPUESTOS CON ARCILLA

Muestra	Clasificación	% de Area Removida
GE60/EDR148/C93A	2B	35%
GE60/EDR176/C93A	0B	>65%
GE60/D230/C93A	5B	0%
GE60/T403/C93A	2B	45%
GE60/TETA/C93A	0B	>65%
GE60/TEPA/C93A	0B	>65%





**FIGURA 4.36 ADHERENCIA DE NANOCOMPUESTOS CON  
ARCILLA**

**Resultados de Ensayo de Adherencia de Nanocompuestos con  
Arcilla e Inhibidor**

**TABLA 35**  
**ADHERENCIA DE NANOCOMPUESTO CON ARCILLA E**  
**INHIBIDOR**

Muestra	Clasificación	% de Area Removida
GE60/EDR148 C93A/RM210	0B	>65%
GE60/EDR176 C93A/RM210	0B	>65%
GE60/D230 C93A/RM210	0B	>65%
GE60/T403 C93A/RM210	0B	>65%
GE60/TETA C93A/RM210	1B	55%
GE60/TEPA C93A/RM210	0B	>65%





**FIGURA 4.37 ADHERENCIA DE NANOCOMPUESTOS CON  
ARCILLA E INHIBIDOR**

### **Analisis de Resultados de Ensayo de Adherencia**

#### **Compuestos Convencionales**

La adherencia de los recubrimientos en la superficie del metal debe ser buena porque es una propiedad importante para la proteccion contra la corrosion. La adherencia de los compuestos

convencionales se encuentran en una clasificación 0B y un área removida de > 65% lo que indica que estos compuestos no son aptos para su utilización como pinturas anticorrosivas debido a que el recubrimiento se desprende totalmente.

### **Nanocompuesto con Arcilla**

La adición de la arcilla dentro de la matriz epóxica mejora la adherencia de ciertos nanocompuestos y en otros no hay cierta compatibilidad dentro de la matriz. El nanocompuesto con una mejor adherencia es la GE60/D230/C93A que se encuentra en la clasificación 5B y el área removida es del 0% y el nanocompuesto GE60/T403/C93A tiene una adherencia aceptable de área removida del 45%. Estos nanocompuestos tienen una resistencia a la corrosión buena y adherencia aceptables.

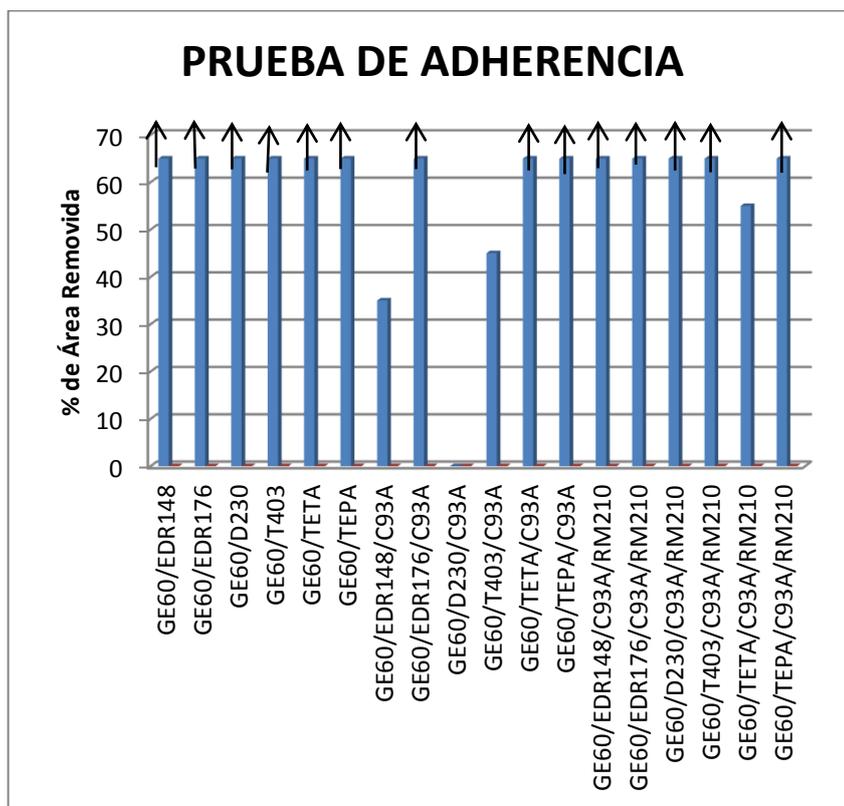
### **Nanocompuesto con Arcilla e Inhibidor**

Estos nanocompuestos como los compuestos convencionales llegaron a tener una adherencia baja donde el recubrimiento se despegó totalmente de la superficie del metal llegando a una clasificación 0B. La mezcla arcilla/inhibidor dentro de la matriz

epóxica no modificaron la propiedad del compuesto convencional. Por ende se obtuvieron los resultados descritos anteriormente.

### **Adherencia de todos los Compuestos Convencionales y Nanocompuestos**

En forma general, como se muestra en la Figura 4.38 el nanocompuesto con menor área removida es GE60/D230/C93A dando una excelente adherencia del 0% de área removida. La agregación de la arcilla al 5% en este compuesto proporciono una buena formación del recubrimiento mejorando excelentemente su propiedad adherente, mientras que la mayor parte de los compuesto convencionales y nanocompuestos adquirieron un porcentaje de área removida de >65% causando una pesima propiedad adherente.



**FIGURA 4.38 PRUEBA DE ADHERENCIA DE COMPUESTOS  
CONVENCIONALES Y NANOCOMPUESTOS**

#### 4.3. Ensayo de Dureza ASTM D 1474.

El ensayo de dureza al lápiz fue realizado a los recubrimientos epóxicos generados sobre la superficie de la placa metálica. Este ensayo permitió adquirir los resultados de dureza de los compuestos convencionales y nanocompuestos. La Figura 4.39 muestra la forma de desarrollar el ensayo de dureza en los recubrimientos.



**FIGURA 4.39 OBTENCIÓN DE LA DUREZA DE LOS  
COMPUESTOS CONVENCIONALES Y NANOCOMPUESTOS**

### **Resultados de Ensayo de Dureza de Compuestos Convencionales**

Los resultados se muestran en la Tabla 36.

**TABLA 36**

### **DUREZA DE COMPUESTOS CONVENCIONALES**

<b>Muestra</b>	<b>Dureza</b>
GE60/EDR148	4H
GE60/EDR176	3H
GE60/D230	6H
GE60/T403	6H
GE60/TETA	6H
GE60/TEPA	4H

### **Resultados de Ensayo de Dureza de Nanocompuestos con Arcilla**

La Tabla 37 muestra los resultados de dureza de los nanocompuestos con adición de arcilla.

**TABLA 37**  
**DUREZA DE NANOCOMPUESTOS CON ARCILLA**

<b>Muestra</b>	<b>Dureza</b>
GE60/EDR148/C93A	5H
GE60/EDR176/C93A	4H
GE60/D230/C93A	>6H
GE60/T403/C93A	>6H
GE60/TETA/C93A	6H
GE60/TEPA/C93A	6H

### **Resultados de Ensayo de Dureza de Nanocompuestos con Arcilla e Inhibidor**

A continuación se muestra la dureza de los nanocompuestos elaborados con adición de arcilla e inhibidor en la Tabla 38.

**TABLA 38**  
**DUREZA DE NANOCOMPUESTOS CON ARCILLA E**  
**INHIBIDOR**

Muestra	Dureza
GE60/EDR148 C93A/RM210	5H
GE60/EDR176 C93A/RM210	4H
GE60/D230 C93A/RM210	>6H
GE60/T403 C93A/RM210	>6H
GE60/TETA C93A/RM210	6H
GE60/TEPA C93A/RM210	6H

### **Análisis de Resultados de Ensayo de Dureza**

#### **Compuestos Convencionales**

Analizando la Tabla 36 de compuestos de resina epóxica y amina alifática se observa que tienen una dureza aceptable. Los mayores valores de dureza se dan en tres diferentes mezclas como son la GE60/D230, GE60/T403 y GE60/TETA ambas con dureza 6H.

#### **Nanocompuestos con Arcilla**

Se observa una mejoría en la dureza de estos nanocompuesto con la adición de la C93A. Esto demuestra que la inclusión de la arcilla

al 5% en diferentes compuestos convencionales mejora las propiedades obteniendo una buena compatibilidad entre ambos.

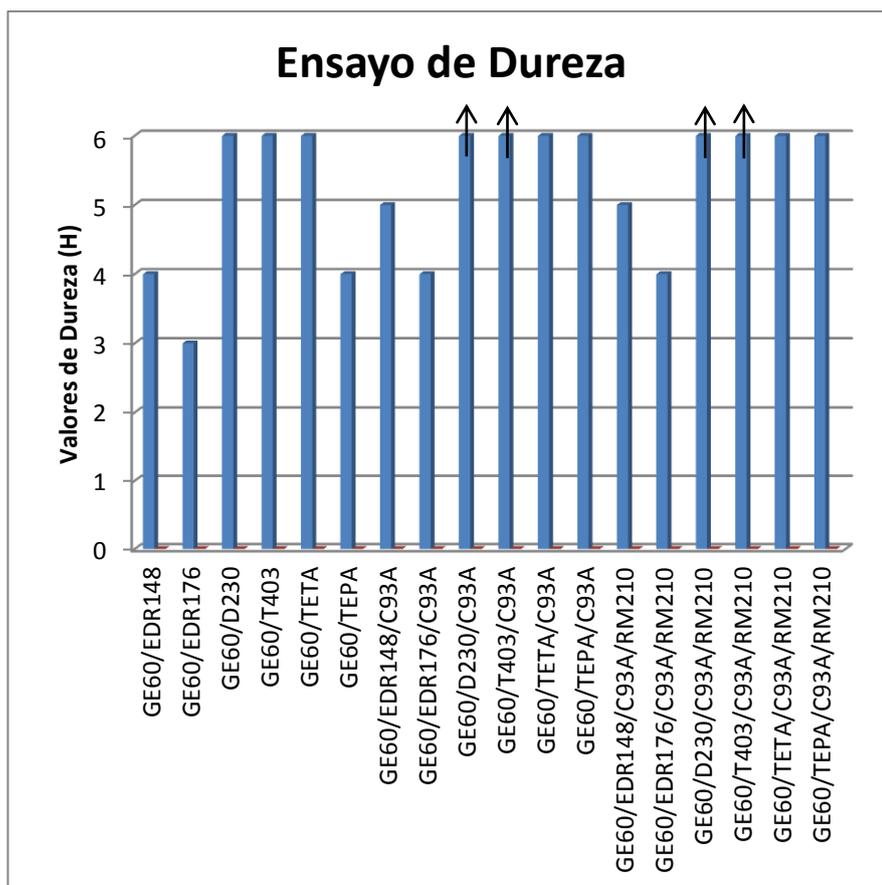
La Tabla 37 muestra los nanocompuestos GE60/D230/C93A y GE60/T403/C93A con una dureza mayor a 6H debido a que sobrepasa la escala de 6H de esta prueba. Esta clase de nanocompuestos van obteniendo buenos resultados, esto puede ser que dentro de la matriz epóxica ocurre una buena dispersión de la arcilla mejorando sus propiedades.

#### **Nanocompuestos con Arcilla e Inhibidor**

Con la inclusión de la arcilla al 5% y el inhibidor de corrosión al 1% en la matriz epóxica se observa en la Tabla 38 que los valores de dureza de estos nanocompuestos se mantienen igual a la dureza de los nanocompuesto con adición de arcilla proporcionando un análisis donde el inhibidor de corrosión al 1% no produce ningún efecto en la matriz epóxica.

#### **Dureza de todos los Compuestos Convencionales y Nanocompuestos**

La Figura 4.40 muestra una relación de todos los valores de dureza de los compuestos convencionales y nanocompuestos utilizados en el ensayo de dureza.



**FIGURA 4.40 VALORES DE DUREZA DE COMPUESTOS CONVENCIONALES Y NANOCOMPUESTOS**

De forma general, como se observa en la Figura 4.40 los nanocompuestos con un valor de dureza alto son GE60/D230/C93A, GE60/T403/C93A, GE60/D230/C93A/RM210 y

GE60/T403/C93A/RM210 todas con una dureza de  $> 6H$  debido a que sobrepasa la escala de medición. Esto indica que la inclusión de arcilla mejora la dureza en la matriz epóxica mientras que la inclusión del inhibidor no tiene ningún efecto dentro de la matriz.

#### **4.4. Ensayo de Tensión Mecánica.**

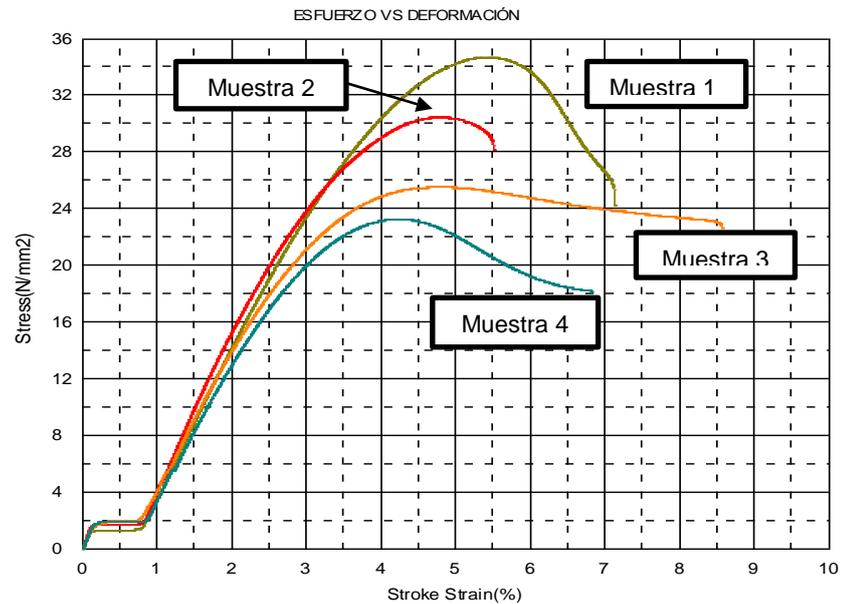
Este ensayo se utilizó para evaluar las propiedades mecánicas como el esfuerzo máximo, la deformación a la rotura y su módulo de elasticidad de los compuestos convencionales y nanocompuestos ensayados.

Se desarrollaron 6 probetas de cada mezcla las cuales se escogieron las mejores pruebas. Todos los resultados mostraron el equipo de ensayo de tensión mecánica mediante el programa TRAPEZIUM con los parámetros mencionados anteriormente en la sección 3.4.4 para su funcionamiento. A continuación se muestra los resultados para su posterior análisis.

#### **Resultados de Ensayo de Tensión de Compuestos Convencionales**

**TABLA 39**  
**PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COMPUESTO**  
**CONVENCIONAL GE60/D230**

<b>Muestra No.</b>	<b>Máxima Deformac. (%)</b>	<b>Máximo Esfuerzo (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo Elástico (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Break Strain (%)</b>
GE60/D230-1	4,7453	34,7776	1.095,44	6,4493
GE60/D230-2	4,1054	30,5491	1.179,21	4,8554
GE60/D230-3	4,2138	25,6124	1.046,29	7,9428
GE60/D230-4	3,5868	30,3209	972,04	6,0904
<b>Media</b>	4,1628	28,5689	1.073,25	6,3345
<b>Desv. Estándar</b>	0,4751	5,1182	86,97	1,5244
<b>Covarianza</b>	11,4120%	17,9152%	8,1032%	24,0650%



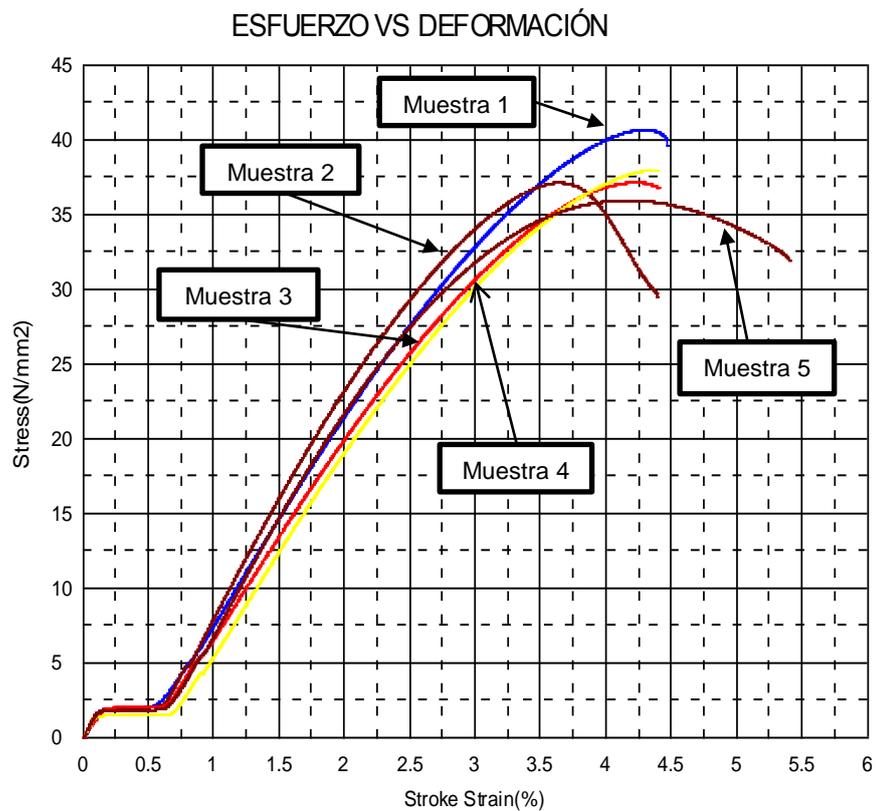
**FIGURA 4.41 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DEL COMPUESTO  
GE60/D230**

**TABLA 40**

**PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COMPUESTO GE60/T403**

Muestra No.	Máxima Deform. (%)	Máximo Esfuerzo (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	Break Strain (%)
GE60/T403-1	3,8238	40,7500	1.448,25	3,9918
GE60/T403-2	3,1169	37,2068	1.663,08	3,8789
GE60/T403-3	3,6905	37,2271	1.378,41	3,8845
GE60/T403-4	3,7554	38,0742	1.403,33	3,7754
GE60/T403-5	3,5930	36,0166	1.617,67	4,8270

<b>Media</b>	3,6024	36,0054	1.441,92	3,8826
<b>Desv. Estándar</b>	0,2518	4,8009	187,6450	0,8837
<b>Covarianza</b>	6,9897%	13,3339%	13,0136%	22,7605%

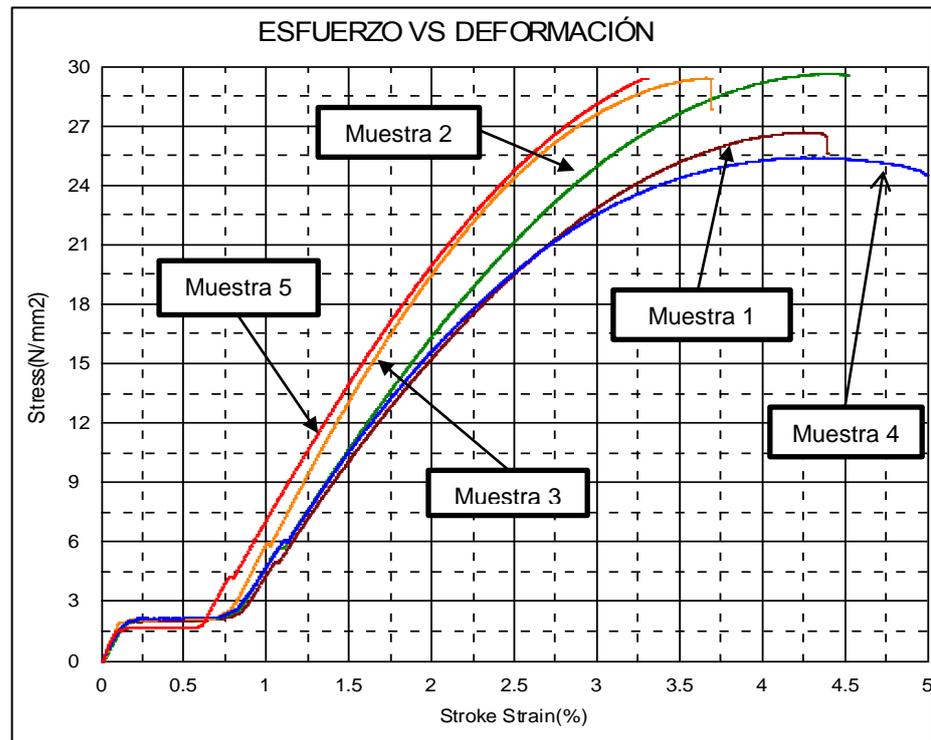


**FIGURA 4.42 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DEL COMPUESTO  
GE60/T403**

**Resultados de Ensayo de Tensión de los Nanocompuestos con  
Arcilla**

**TABLA 41**  
**PROPIEDADES MECÁNICAS DEL NANOCOMPUESTO**  
**GE60/D230/C93A**

<b>Muestra No.</b>	<b>Máxima Deform. (%)</b>	<b>Máximo Esfuerzo (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo Elástico (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Break Strain (%)</b>
GE60/D230 C93A-1	3,6351	26,7579	1.140,77	3,7851
GE60/D230 C93A-2	3,7558	29,7123	1.228,56	3,8958
GE60/D230 C93A-3	3,0163	29,4884	1.549,97	3,0563
GE60/D230 C93A-4	3,6562	25,4872	1.174,38	4,3962
GE60/D230 C93A-5	2,8142	29,4840	1.402,21	2,8182
<b>Media</b>	3,3755	28,1860	1.299,18	3,5903
<b>Desv. Estándar</b>	0,4286	1,9387	172,6030	0,6446
<b>Covarianza</b>	12,6982%	6,8781%	13,2855%	17,9539%



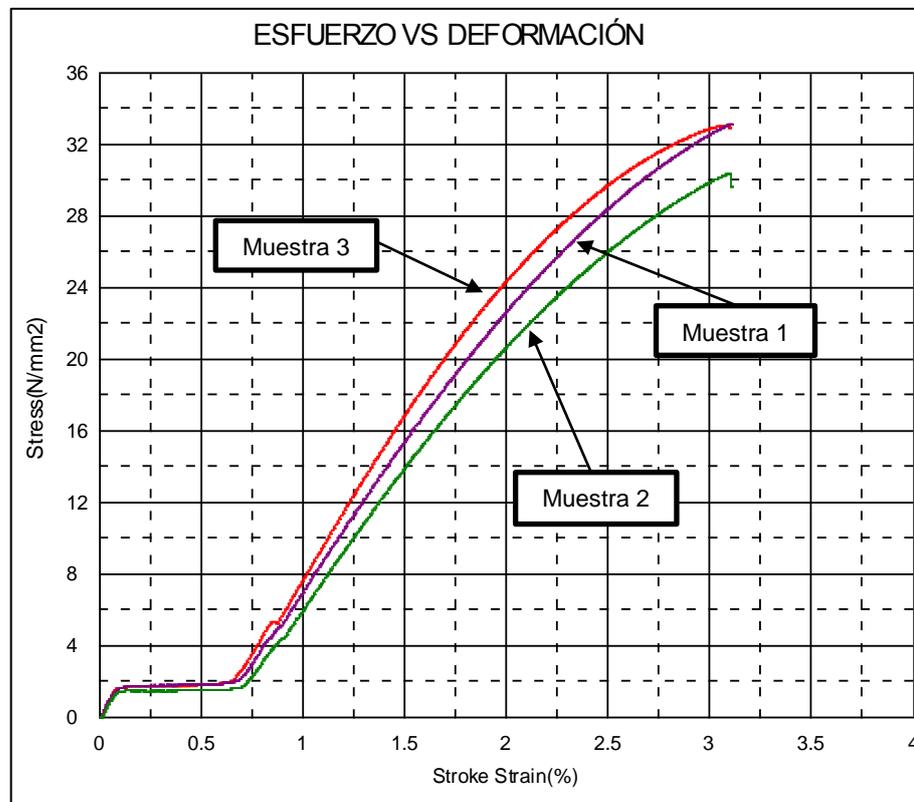
**FIGURA 4.43 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DEL  
NANOCOMPUESTO GE60/D230/C93A**

**TABLA 42**

**PROPIEDADES MECANICAS DEL NANOCOMPUESTO  
GE60/T403/C93A**

Muestra No.	Máxima Deform. (%)	Máximo Esfuerzo (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	Break Strain (%)
GE60/T403 C93A-1	2,5092	33,1940	1.740,26	2,5132
GE60/T403 C93A-2	2,4654	30,4170	1.648,37	2,4734

GE60/T403 C93A-3	2,4788	33,1281	1.898,04	2,5068
<b>Media</b>	2,4845	32,2464	1.762,22	2,4978
<b>Desv. Estándar</b>	0,0224	1,5846	126,2760	0,0213
<b>Covarianza</b>	0,9028%	4,9141%	7,1657%	0,8528%



**FIGURA 4.44 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DEL  
NANOCOMPUESTO GE60/T403/C93A**

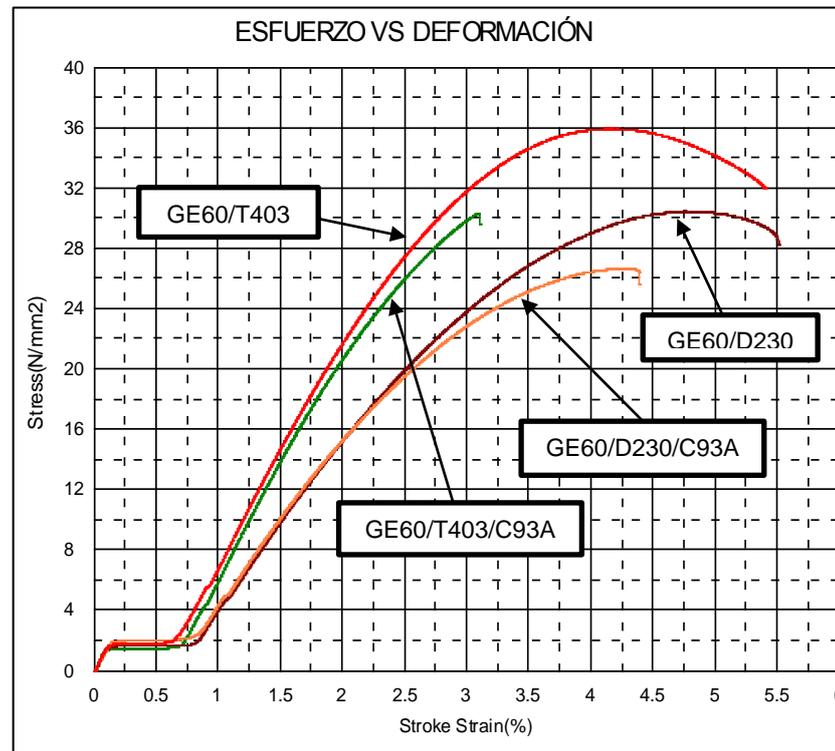
### **Análisis de Resultado de Ensayo de Tensión**

Para desarrollar un mejor análisis de los compuestos convencionales y nanocompuestos empleados en este ensayo se optó por tomar las medias de cada mezcla, ya que se realizaron 6 pruebas en donde se escogieron los mejores resultados de cada compuesto.

La Tabla 43 muestra las propiedades mecánicas y desviaciones estándar promedios de cada compuesto ensayado.

**TABLA 43**  
**PROPIEDADES MECÁNICAS Y DESVIACIONES ESTÁNDAR**  
**PROMEDIOS DE COMPUESTOS CONVENCIONALES Y**  
**NANOCOMPUESTOS**

<b>Muestras</b>	<b>Máximo Esfuerzo (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Máxima Deform. (%)</b>	<b>Break Strain (%)</b>
GE60/D230	28,56(5,12)	4,16(0,47)	6,33(1,52)
GE60/D230/C93A	28,18(1,94)	3,37(0,42)	3,88(0,88)
GE60/T403	36,01(4,80)	3,60(0,25)	3,59(0,64)
GE60/T403/C93A	32,24(1,58)	2,48(0,02)	2,49(0,02)



**FIGURA 4.45 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PROMEDIOS DE COMPUESTOS CONVENCIONALES Y NANOCOMPUESTOS**

Los valores de resistencia a la tracción son elevados en los compuestos convencionales siendo la de mayor valor la GE60/T403 como se ilustra en la Tabla 43. En la Figura 4.45 se nota que los compuestos convencionales llegan a obtener una forma dúctil debido a que su estado de deformación y fractura es alto en donde ambos compuestos tienden a llegar a la zona plástica del gráfico esfuerzo vs deformación.

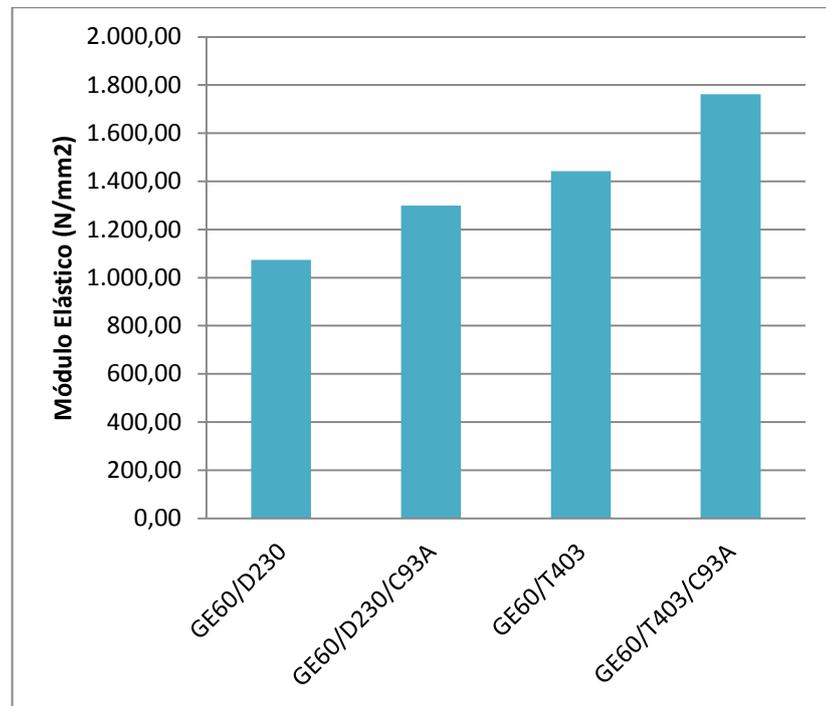
Al adicionar la C93A al 5% en ambos compuestos convencionales no se logró ningún incremento de la resistencia a la tracción en comparación con sus respectivos compuestos convencionales.

Esto indica que el grado de interacción o compatibilidad entre la arcilla y la matriz epóxica es ligeramente bajo dando un resultado de deformación muy rápida del nanocompuesto siendo estas consideradas como compuestos frágiles. De tal forma comparando los resultados de la Tabla 43 de los dos nanocompuestos se observa que el de más alta resistencia es la GE60/T403/C93A.

#### **Módulos Elásticos y Desviaciones Estándar Promedios de Compuestos Convencionales y Nanocompuestos**

**TABLA 44**  
**MÓDULOS ELÁSTICOS Y DESVIACIONES ESTÁNDAR**  
**PROMEDIOS DE COMPUESTOS CONVENCIONALES Y**  
**NANOCOMPUESTOS**

<b>Muestras</b>	<b>Módulo Elástico (N/mm<sup>2</sup>)</b>
GE60/D230	1.073,25(86,97)
GE60/D230/C93A	1.299,18(172,60)
GE60/T403	1.441,92(187,64)
GE60/T403/C93A	1.762,22(126,27)



**FIGURA 4.46 MÓDULOS ELÁSTICOS PROMEDIOS DE  
COMPUESTOS CONVENCIONALES Y NANOCOMPUESTOS**

De forma general se puede apreciar un ligero incremento del módulo elástico en los nanocompuestos como se observa en la Figura 4.46. Este incremento sería consecuencia de la mayor rigidez de las arcillas respecto a la matriz epóxica.

Además este incremento pudo haberse producido por una buena orientación o dispersión de las arcillas dentro de la matriz.

La dispersión de la arcilla será corroborada en el ensayo de microscopio óptico polarizado. Específicamente, el nanocompuesto donde se observa un mayor incremento del módulo elástico es la GE60/T403/C93A.

#### **4.5. Ensayo en Medio Corrosivo.**

En el ensayo en medio corrosivo el inhibidor de corrosión permite extender su propiedad inhibidora de corrosión sobre la superficie metálica por volatilización en espacio cerrado.

El inhibidor de corrosión (RM210) y la mezcla arcilla/inhibidor (C93A/RM210) permitieron observar su protección del metal contra la corrosión en la cabina de humedad por un tiempo de 15 días. Los resultados del ensayo en medio corrosivo se muestran a continuación.

#### **Resultados del Ensayo en Medio Corrosivo**

##### **Muestra 1 (Sin Inhibidor)**

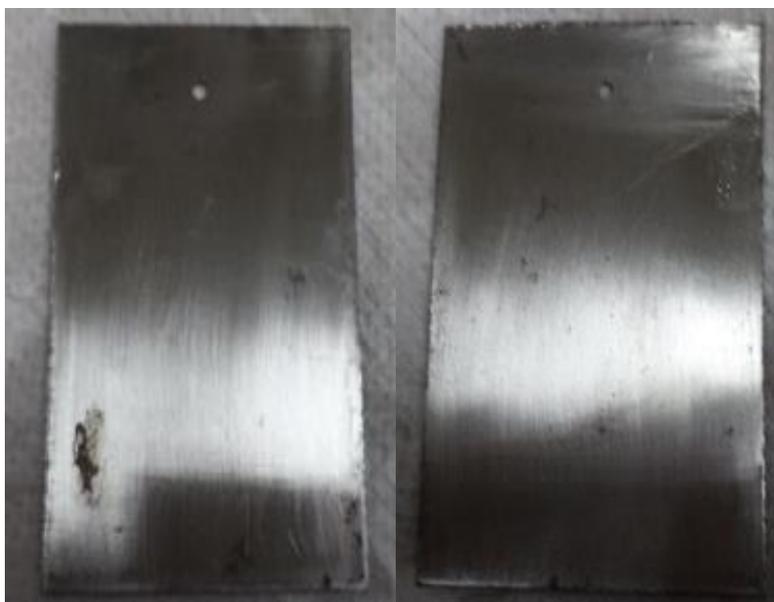
**Control 1**

**FIGURA 4.47 PROPAGACIÓN DE CORROSIÓN EN PLACA DE CONTROL 1**

**TABLA 45**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN SIN INHIBIDOR CONTROL 1**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 1	Frontal	Abundante
	Trasera	Abundante

**Control 2**

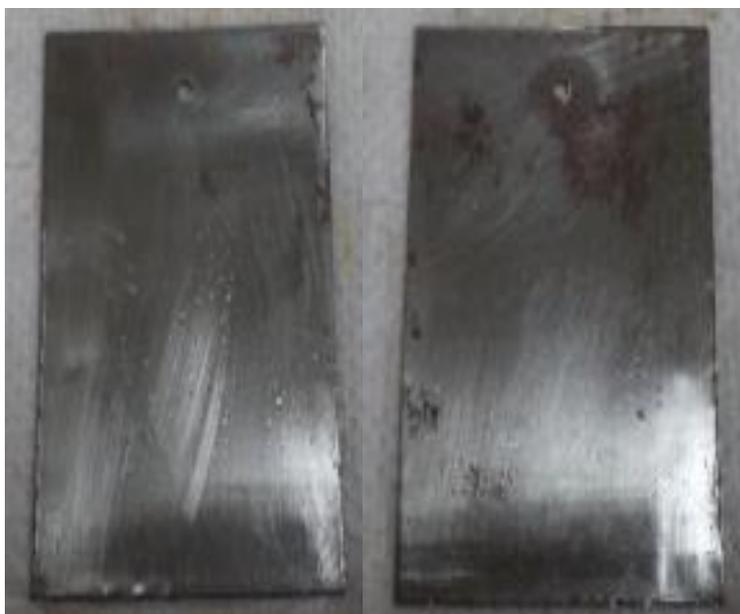
**FIGURA 4.48 PROPAGACIÓN DE CORROSIÓN EN PLACA DE CONTROL 2**

**TABLA 46**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN SIN INHIBIDOR CONTROL 2**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 2	Frontal	Poca
	Trasera	Poca

**Muestra 2 (Con Inhibidor: 0,5 gr RM210)**

**Control 1**

**FIGURA 4.49 PROPAGACIÓN DE CORROSION CON  
INHIBIDOR CONTROL 1**

**TABLA 47**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN CON INHIBIDOR CONTROL 1**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 1	Frontal	Poca
	Trasera	Abundante

**Control 2**

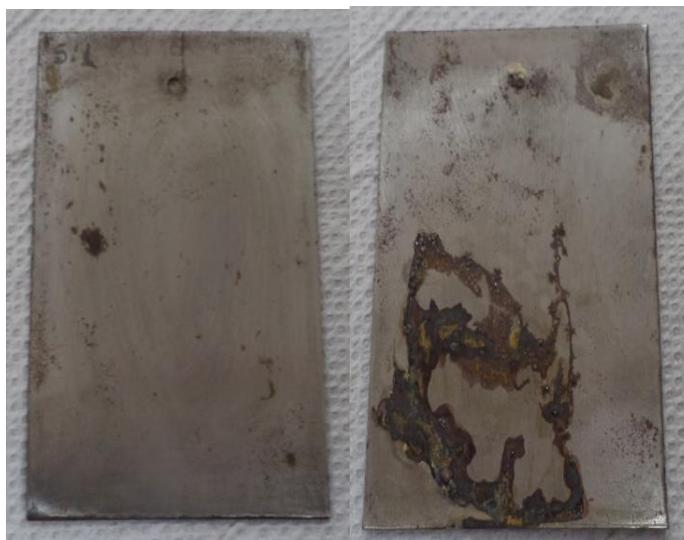
**FIGURA 4.50 PROPAGACIÓN DE CORROSIÓN CON  
INHIBIDOR CONTROL 2**

**TABLA 48**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN CON INHIBIDOR CONTROL 2**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 2	Frontal	Poca
	Trasera	Abundante

**Mezcla 3 (5% C93A de 0,5 gr RM210)**

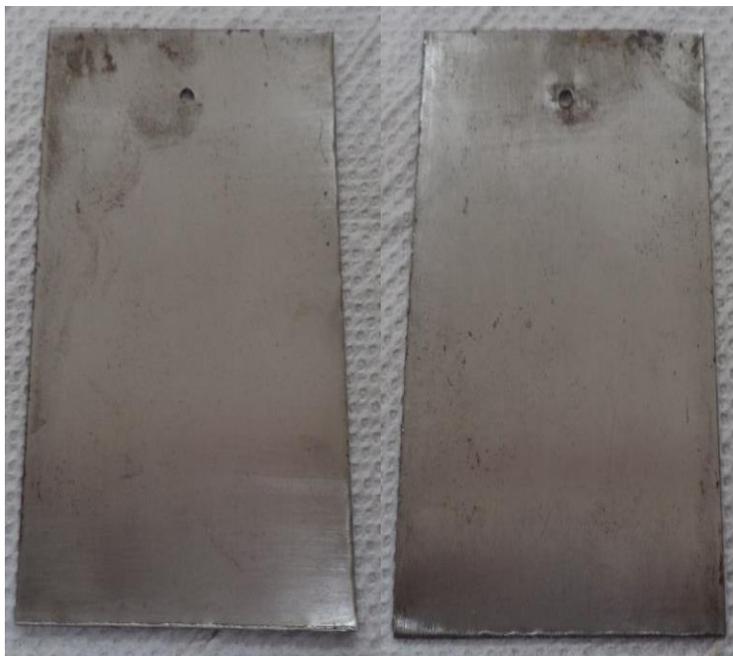
**Control 1**

**FIGURA 4.51 PROPAGACIÓN DE CORROSIÓN CON 5% C93A  
DE 0,5 GR RM210 CONTROL 1**

**TABLA 49**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN CON 5% C93A DE 0,5 GR RM210  
CONTROL 1**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 1	Frontal	Poca
	Trasera	Abundante

**Control 2**

**FIGURA 4.52 PROPAGACIÓN DE CORROSIÓN CON 5% C93A  
DE 0,5 GR RM210 CONTROL 2**

**TABLA 50**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN CON 5% C93A DE 0,5 GR  
RM210 CONTROL 2**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 2	Frontal	Poca
	Trasera	Poca

**Mezcla 4 (10% C93A de 0,5 gr RM210)**

**Control 1**



**FIGURA 4.53 PROPAGACIÓN DE CORROSIÓN CON 10% C93A DE 0,5 GR RM210 CONTROL 1**

**TABLA 51**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN CON 10% C93A DE 0,5 GR RM210 CONTROL 1**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 1	Frontal	Poca
	Trasera	Media

**Control 2**

**FIGURA 4.54 PROPAGACIÓN DE CORROSIÓN CON 10% C93A  
DE 0,5 GR RM210 CONTROL 2**

**TABLA 52**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN CON 10% C93A DE 0,5 GR  
RM210 CONTROL 2**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 2	Frontal	Media
	Trasera	Abundante

**Mezcla 5 (20% C93A de 0,5 gr RM210)**

**Control 1**

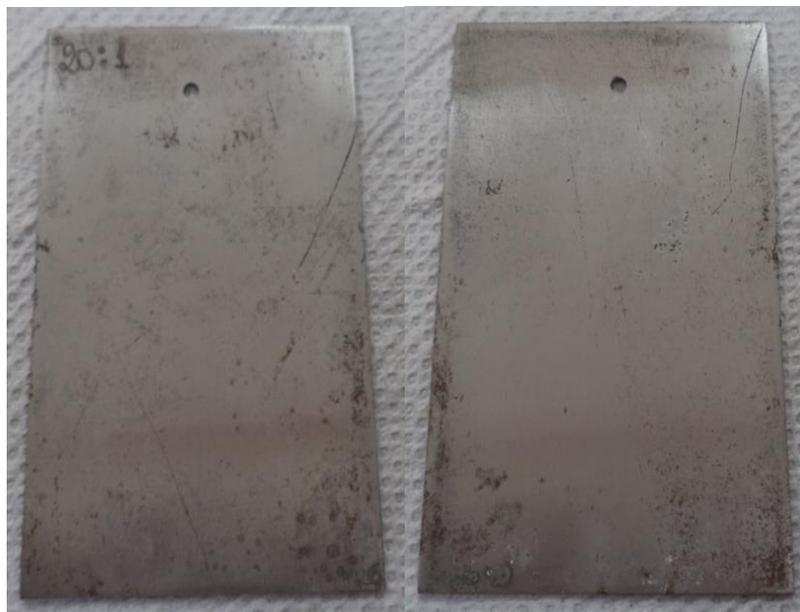


**FIGURA 4.55 PROPAGACIÓN DE CORROSIÓN CON 20% C93A DE 0,5 GR RM210 CONTROL 1**

**TABLA 53**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN CON 20% C93A DE 0,5 GR RM210 CONTROL 1**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 1	Frontal	Poca
	Trasera	Media

**Control 2**

**FIGURA 4.56 PROPAGACIÓN DE CORROSIÓN CON 20% C93A  
DE 0,5 GR RM210 CONTROL 2**

**TABLA 54**

**PRESENCIA DE CORROSIÓN CON 20% C93A DE 0,5 GR RM210  
CONTROL 2**

<b>Muestra</b>	<b>Cara</b>	<b>Presencia de Corrosión</b>
Control 2	Frontal	Poca
	Trasera	Poca

## **Análisis de Resultados de Ensayo en Medio Corrosivo**

### **Placas de Control (Sin Inhibidor)**

Control 1. Como se observa en la Figura 4.47 las placas se encuentran con manchas en su superficie producido por el ingreso de solución salina en la funda. Esto se pudo haber desarrollado por la rotura de la funda debido a las puntas de las placas (Figura 4.57) por ende no se puede dar un análisis correcto aunque este efecto causo abundante corrosión en la placa.



**FIGURA 4.57 INMERSIÓN DE AGUA SALINA DENTRO DE LA FUNDA PLÁSTICA**

Control 2. La Figura 4.48 muestra un mejor análisis de la placa de control con un resultado de poca corrosión tanto en la parte frontal como trasera, la cual se utilizó como referencia para comparar el

efecto del inhibidor y de la mezcla arcilla/inhibidor contra la corrosión.

### **Efecto del Inhibidor contra la Corrosión en la Placa**

Control 1. Se nota que el inhibidor de corrosión no causa ningún efecto en protección contra la corrosión trabajando a una proporción de 0,5 gr debido a que se observa abundante corrosión en la superficie de la placa en la parte trasera (Figura 4.49). Esto se justifica al comparar con la placa de control.

Control 2. En la Figura 4.50 se aprecia el mismo suceso que el control 1 con una placa corroída tanto en sus bordes como en la superficie.

### **Efecto de la Mezcla Arcilla/Inhibidor contra la Corrosión**

#### **Concentración (5% C93A de 0,5 gr RM210)**

Control 1. En la parte trasera de la placa existe un defecto como en la placa de control 1 (Figura 4.51). Este suceso no permite dar un análisis correcto del efecto de la arcilla con el inhibidor.

Control 2. Se observa una mejora de la placa comparada con la placa de control 2 (Figura 4.52). Esto significa que conjuntamente la arcilla y el inhibidor producen una protección contra la corrosión bastante alta.

### **Concentración (10% C93A de 0,5 gr RM210)**

Control 1. La presencia de corrosión es mediana (Figura 4.53) lo que significa que la mezcla arcilla/inhibidor actuando a la concentración expuesta no produce ningun efecto de proteccion como el caso anterior.

Control 2. No se puede dar un análisis de la presencia de corrosión en la placa debido a que se encuentra manchada la parte trasera como la placa de control 1 (Figura 4.54).

### **Concentración (20% C93A de 0,5 gr de RM210)**

Control 1. Se observa poca corrosión de la parte frontal y una corrosión mediana en la parte trasera lo que indica que la mezcla no proporciona una buena protección (Figura 4.55).

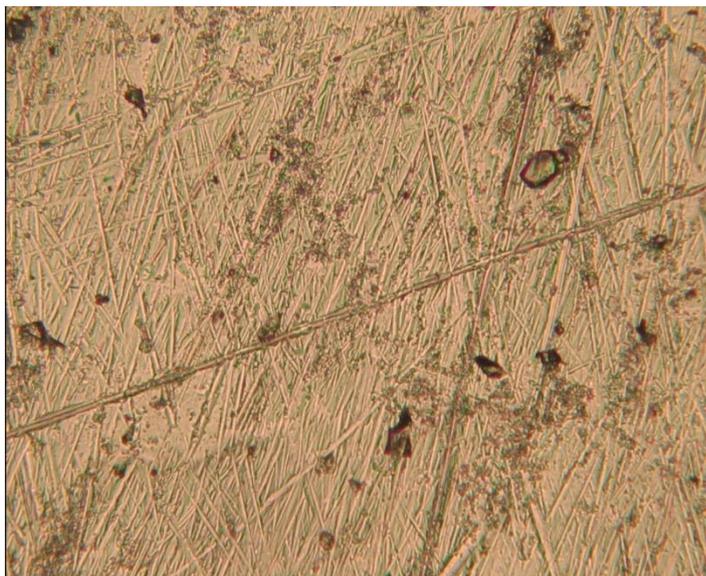
Control 2. La Figura 4.56 muestra una ligera corrosión tanto la parte frontal como trasera de la placa mejorando un poco el resultado del control 1 de esta concentración.

### **Análisis General del Ensayo en Medio Corrosivo**

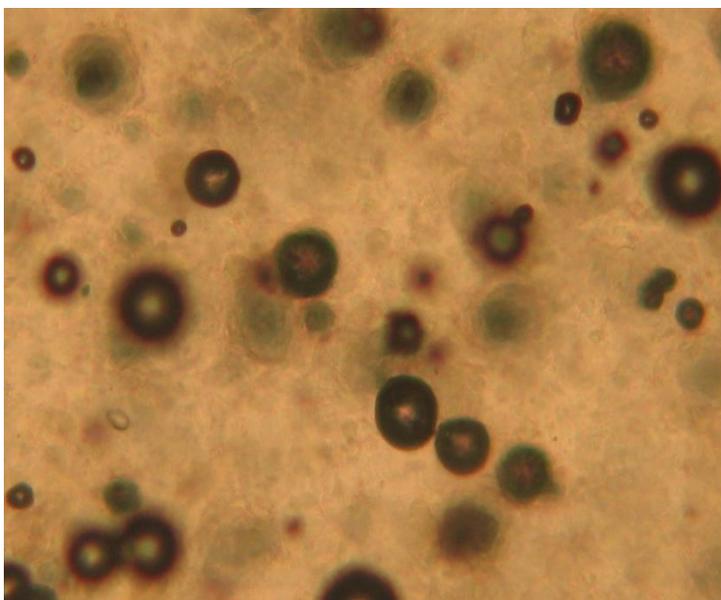
Un análisis en general de todas las probetas muestra que el mejor resultado sobre protección contra la corrosión es la mezcla arcilla/inhibidor en una proporción 5% C93A de 0,5 gr de RM210 indicando que la arcilla actuando a un 5% mejora la protección comparada con la placa de control disminuyendo la presencia de corrosión. En si, el inhibidor de corrosión actuando solo no produce ningun efecto contra la corrosión, ni tampoco aumentando la concentracion de arcilla de mayor al 5%.

#### **4.6. Ensayo de Microscopia Óptica.**

El ensayo de microscopia óptica polarizada sirvió para analizar la dispersión de las nanoarcillas dentro de la matriz epóxica. En este ensayo solo se usaron dos mezclas como GE60/D230 y GE60/D230/C93A para su respectivo análisis. Los resultados se observan a continuación.



**FIGURA 4.58 MICROSCOPIA ÓPTICA DEL COMPUESTO  
GE60/D230**



**FIGURA 4.59 MICROSCOPIA ÓPTICA DEL NANOCOMPUESTO  
GE60/D230/C93A**

### **Análisis de Resultados de Ensayo de Microscopia Óptica**

Del compuesto convencional GE60/D230 no se pudo obtener una buena visibilidad de la mezcla de los dos componentes por la presencia de rayas en la superficie de la probeta tal como se observa en la Figura 4.58 y por ende no se puede dar un análisis perfecto de mezclado. Las rayas en la superficie son producto del lijado de la probeta por medio de lijas considerando que estas no fueron borradas por medio del equipo de pulido obteniendo una muestra no transparente.

El nanocompuesto GE60/D230/C93A muestra una dispersión de la arcilla casi perfecta dando un resultado que una parte se encuentra intercalada y otra exfoliada. Los puntos negros que se observan en la Figura 4.59 son las arcillas dispersas dentro de la matriz epóxica, además se observa unos puntos negros no tan visible en el fondo, lo que indica que el lijado no fue tan perfecto en diferentes partes de la probeta.

Para un mejor resultado de observación de la mezcla convencional y de la dispersión de las arcillas se optó en utilizar el microscopio electrónico de barrido (SEM). Ver Figura 4.60.



**FIGURA 4.60 MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO**

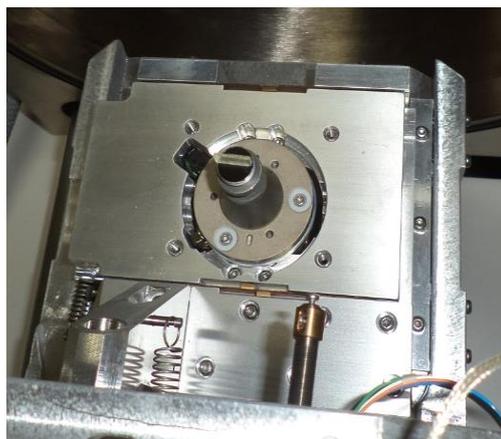
Para la obtención de los resultados se usó como muestra una porción pequeña de las probetas GE60/D230, GE60/T403, GE60/D230/C93A y GE60/T403/C93A ensayadas en el equipo de tensión. Mediante este equipo se analizó la parte de rotura de la probeta para obtener una buena visibilidad de la dispersión de las arcilla dentro de la matriz polimérica.

Antes de ingresar la muestra al microscopio electrónico de barrido estas primeramente fueron recubiertas en platino la parte a analizar para obtener una mejor apreciación de las arcillas en el microscopio electrónico. El recubrimiento de las probetas se desarrolló por medio del equipo SC7620 Mini Sputter Coater (Figura 4.61).



**FIGURA 4.61 EQUIPO DE RECUBRIMIENTO DE PLATINO**

Estando preparada la muestra se procedió a colocarla dentro del microscopio electrónico de barrido (Figura 4.62) posteriormente se fue chequeando la muestra a diferentes magnificaciones hasta obtener una buena apreciación del compuesto y de la dispersión de las arcillas

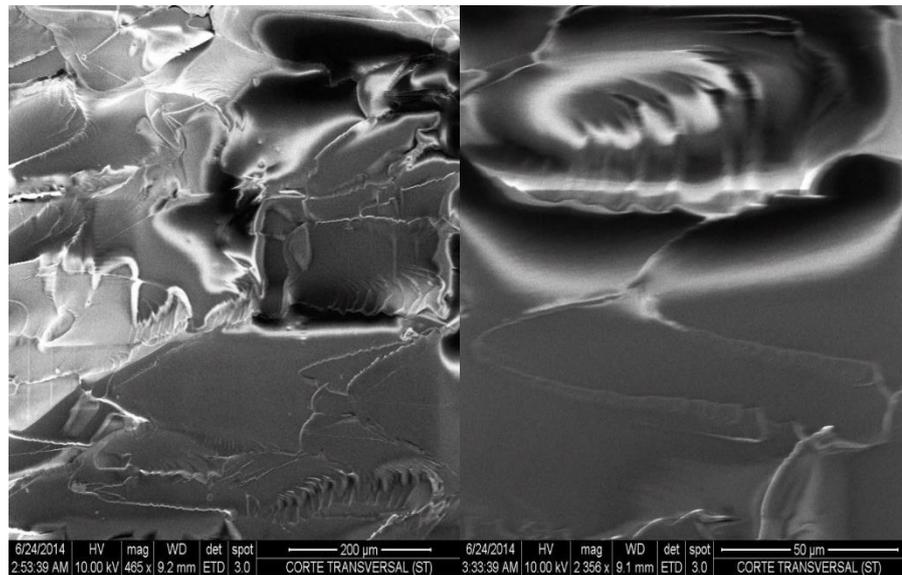


**FIGURA 4.62 PUESTA DE MUESTRA EN EL MICROSCOPIO**

## Resultados del Microscopio Electrónico de Barrido

### Compuestos Convencionales

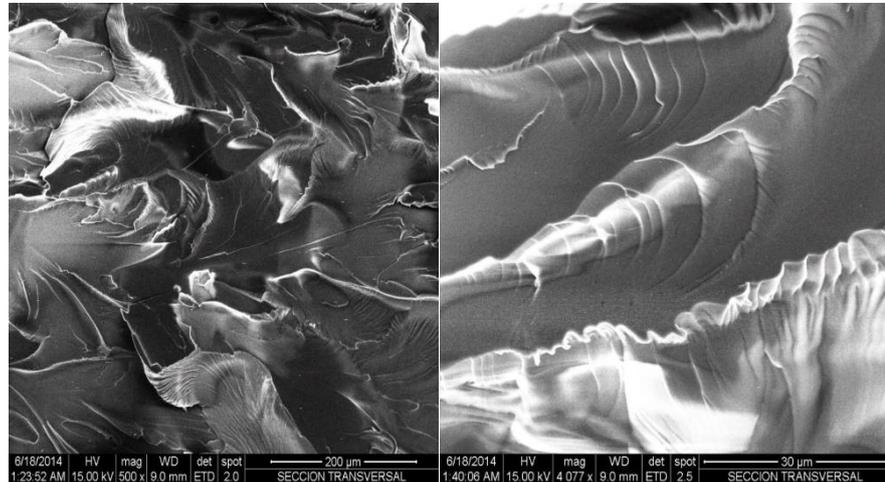
#### GE60/D230 (Magnificación 465X y 2356X)



**FIGURA 4.63 GE60/D230 CON MAGNIFICACIÓN 465X Y  
2356X**

La Figura 4.63 muestra el efecto previo de mezclado sobre las características superficiales y buena visibilidad de la matriz epóxica. Además como se trata de una probeta ensaya a tensión se observa unas largas, distantes y amplias líneas de propagación de grietas de fractura del compuesto convencional.

### GE60/T403 (Magnificación 500X y 4077X)



**FIGURA 4.64 GE60/T403 CON MAGNIFICACIÓN 500X Y 4077X**

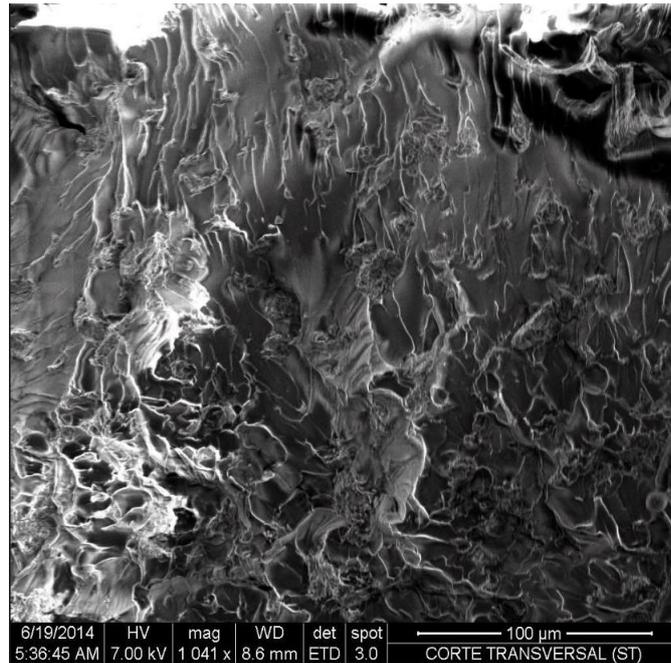
La Figura 4.64 muestra una buena visibilidad de la matriz epóxica y un buen mezclado como el compuesto convencional anterior con la diferencia de que las líneas de grietas de fractura son más pronunciadas y largas.

### Nanocompuestos con Arcilla

#### GE60/D230/C93A (Magnificación 1047X)

En la Figura 4.65 se observa que en la matriz epóxica existe una buena mezcla entre los compuestos. Cabe destacar que a una magnificación de 1047X no se puede visualizar claramente la

presencia y dispersión de las arcilla por ende fue necesario realizar una magnificación más alta con el objetivo de llegar a visualizar perfectamente la arcilla.

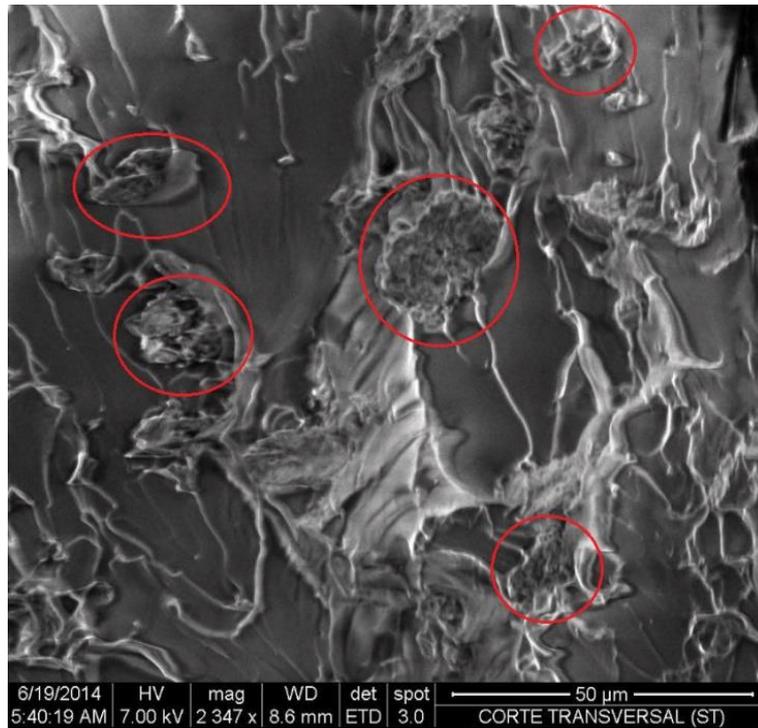


**FIGURA 4.65 GE60/D230/C93A CON MAGNIFICACIÓN 1047X**

#### **GE60/D230/C93A (Magnificación 2347X)**

Con una magnificación de 2347X se logró observar con claridad la presencia y dispersión de la arcilla dentro de matriz epóxica. Los círculos de color rojo muestran el resultado que se esperaba obtener una buena visibilidad de las nanoarcillas. Además se destaca una buena exfoliación y una poca intercalación de la arcilla

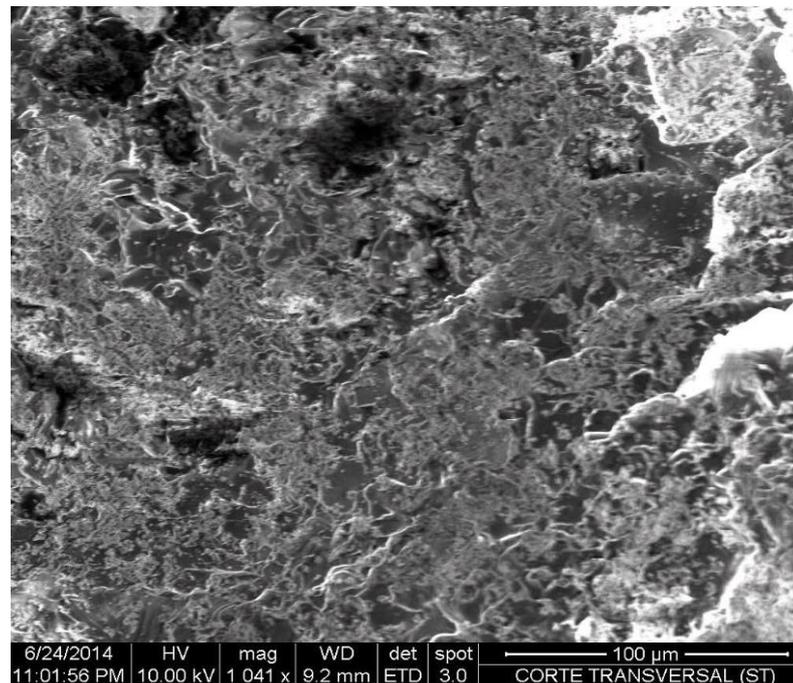
lo que permite el retraso del progreso de la corrosión. Ver Figura 4.66



**FIGURA 4.66 GE60/D230/C93A CON MAGNIFICACIÓN 2347X**

#### **GE60/T403/C93A (Magnificación 1041X)**

La Figura 4.67 muestra una morfología excelente del nanocompuesto, pero la presencia de arcilla es poco visible a esta magnificación por el tamaño de partícula. Fue necesario elevar la magnificación para lograr una buena visibilidad de la dispersión de la arcilla.

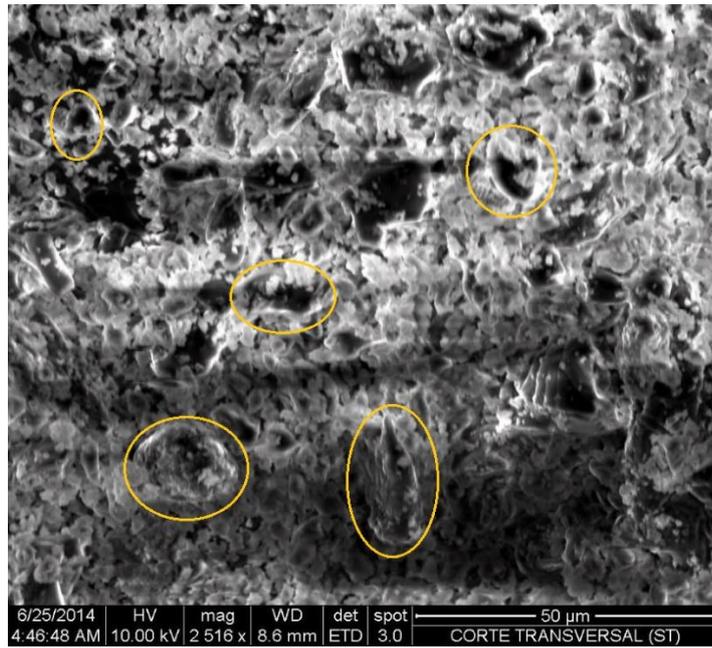


**FIGURA 4.67 GE60/T403/C93A CON MAGNIFICACIÓN 1041X**

#### **GE60/T403/C93A (Magnificación 2516X)**

Se logró observar con claridad los agregados de arcilla en la matriz epóxica dando como resultado una buena dispersión dentro de la matriz. Los círculos en amarillo son tamaños de partículas grandes (C93A).

Esta buena dispersión de la arcilla le permitió obtener un buen módulo elástico como se determinó en el ensayo de tensión mecánica. Ver Figura 4.68



**FIGURA 4.68 GE60/T403/C93A CON MAGNIFICACIÓN 2516X**

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Conclusiones:

1. Se comprobó que los 6 sistemas de resina epóxica (GE60) y aminas alifáticas (EDR148, EDR176, D230, T403, TETA, TEPA) no son aptos para recubrimientos anticorrosivos debido a su bajas adherencia y poca resistencia a la corrosión.
2. La inclusión de Cloisite 93A a una concentración del 5% mejora ligeramente las propiedades de adherencia y corrosión de los sistema GE60 curados con EDR148, EDR176, D230, T403, TETA y TEPA, con una resistencia aproximada de 48 horas.

3. Los nanocompuestos GE60/D230/C93A y GE60/T403/C93A mejoraron notablemente contra la corrosión incrementando la resistencia a la corrosión de 120 y 144 horas, respectivamente.
4. Al agregarle la mezcla C93A/RM210 en concentración del 5 % y 1% en los sistemas epóxicos-aminas no incidió en la resistencia a la corrosión o adherencia comparado con los sistemas con C93A solamente.
5. En general las mejores resistencias a la corrosión se obtuvieron con la adición de la C93A, con recubrimientos de espesores de  $\pm 1$  mils se obtuvieron mejores resistencias a la corrosión que con los sistemas sin C93A con espesores de  $\pm 2$  mils.
6. En las pruebas de adherencia dieron como resultado una buena adherencia a el nanocompuesto GE60/D230/C93A con un porcentaje de área removida del 0% concluyendo que adquiere un incremento de su propiedad contra la corrosión.
7. La nanoarcilla C93A produce un incremento de la dureza en comparación con los convencionales siendo las mayores GE60/D230/C93A y GE60/T403/C93A con una dureza  $>6H$

mejorando considerablemente la propiedad de la matriz epóxica. Mientras que la arcilla en conjunto con el inhibidor no produce ningún aumento de la dureza.

- 8.** En las pruebas de tensión se observó una disminución de los esfuerzos máximos de los nanocompuestos con arcilla en comparación con los compuestos convencionales, debido posiblemente a regiones débiles dentro de la matriz epóxica o a aglomerados de arcilla dando interacciones bajas en la matriz produciendo un efecto de fragilidad a los compuestos con una deformación muy rápida.
- 9.** En los resultados de modulo elástico se nota un incremento de esta propiedad con la inclusión de la C93A en los nanocompuestos. La nanoarcilla aumenta la rigidez del compuesto convencional y logra que incremente su módulo. Además, esto indica que la dispersión de la arcilla es casi perfecta dentro de la matriz epóxica.
- 10.** Como no se logró una buena apreciación de la dispersión de la nanoarcilla en el microscopio óptico polarizado se utilizó el microscopio electrónico de barrido dando mejores resultados.

Se consiguió una buena apreciación del mezclado de los compuestos convencionales utilizados en el ensayo, además de las líneas de propagación de grietas.

- 11.** Con relación a la dispersión de la arcilla la muestra GE60/T403/C93A tuvo una excelente dispersión comparada con la GE60/D230/C93A corroborando el mayor incremento del módulo elástico en dicho nanocompuesto.
- 12.** En el ensayo en medio corrosivo se observó que el inhibidor de corrosión RM210 en unión con la C93A no incrementa la protección contra la corrosión en las placas metálicas.
- 13.** La mezcla arcilla e inhibidor (5% C93A de 0,5 gr RM210) logro un excelente efecto protegiendo la placa contra la corrosión en comparación con el resto de concentraciones utilizadas ya que aumentando la cantidad de arcilla produce un aumento de la corrosión en la placas.

## **Recomendaciones:**

- 1.** La placa debe tener una superficie plana sin ondulaciones para lograr un recubrimiento uniforme sin imperfecciones.
- 2.** La aplicación del recubrimiento epóxico debe ser constante en la placa para desarrollar un film de igual espesor en todo su volumen.
- 3.** Se recomienda que los compuestos convencionales y nanocompuestos estén almacenados en un lugar bien sellado sin presencia de humedad para lograr un buen curado.
- 4.** Estar pendiente del nivel de solución salina del reservorio del equipo de cámara salina por lo que puede paralizar el ensayo y dar resultados no perfectos.
- 5.** En el ensayo de tensión mecánica las probetas deben ser colocadas linealmente con las mordazas para obtener buenos resultados.

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## HOJA TÉCNICA DE JEFFAMINE EDR-148



### Technical Bulletin

## JEFFAMINE<sup>®</sup> EDR-148 Polyetheramine

**JEFFAMINE EDR-148** polyetheramine is a symmetrical, unhindered diamine. Like other JEFFAMINE polyetheramines, it imparts flexibility and toughness to thermoset polymers. However, JEFFAMINE EDR-148 polyetheramine is unique in that it is much more reactive than the JEFFAMINE D, T, and ED series amines.



- APPLICATIONS**
- Epoxy curing agent
  - Monomer for polyamides
- BENEFITS**
- Can be formulated to cure at room temperature
  - Rapid cure at elevated temperatures
  - Excellent thermal shock resistance in cured epoxies

### SALES SPECIFICATIONS

Property	Specifications	Test Method*
Appearance	Colorless to pale yellow liquid with slight haze permitted	ST-30.1
Color, Pt-Co	50 max.	ST-30.12
TEGDA, area% (Triethyleneglycol diamine)	97 min.	ST-35.143
Total amine, meq/g	12.7 min.	ST-5.35
Water, wt%	0.35 max.	ST-31.53, 6

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

### ADDITIONAL INFORMATION

#### Regulatory Information

DOT/TDG Classification	Amines, liquid, corrosive, n.o.s. (Triethylene glycol diamine)
HMIS Code	3-1-0
CAS Number	929-59-9
US, TSCA	Listed
Canadian WHMIS Classification	D2B, E
Canada, DSL	Not Listed
European Union, EINECS/ELINCS	Listed
Australia, AICS	Listed
Japan, ENCS	Contact Huntsman Regulatory
Korea, ECL	Listed
China, IECSC	Not Listed

#### Typical Physical Properties

AHEW (Amine hydrogen equivalent wt.), g/eq	37
Viscosity, cSt, 25°C (77°F)	8
Density, g/ml (lb/gal), 25°C	0.998 (8.32)
Flash point, PMCC, °C (°F)	129 (265)
pH	11.8

**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 <sup>®1</sup>
Gaskets, packing	Polypropylene or TEFLON <sup>®1</sup> (elastomers such as neoprene, Buna N, and VITON <sup>®1</sup> 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

<sup>1</sup> VITON<sup>®</sup> and TEFLON<sup>®</sup> are registered trademarks of DuPont.

JEFFAMINE<sup>®</sup> EDR-148 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-148 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**

Samples are available in North America and Asia by contacting our sample department at 1-800-862-0824. Samples in other locations, including Europe, are available by contacting any Huntsman Corporation sales office.

5188-0811

Copyright © 2007, 2008, 2009, 2011 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.  
JEFFAMINE<sup>®</sup> 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, when 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, 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 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 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 / 1000 Woodloch Forest Drive / The Woodlands, Texas 77380 / 281-719-8000  
Technical Service US: 800 Goshard Road / The Woodlands, Texas 77381 / 281-719-7700

Main Office Europe: Huntsman Belgium BVBA / Everlaan 45 / 9-3030 Everberg, Belgium / 32-2-756-8011  
Technical Service Europe: Technical Services Representative / Everberg Office / 32-2-756-8992

Main Office Asia Pacific: Huntsman Singapore PTE / 150 Beach Road #27-05 Gateway West / Singapore 189720 / 65 6297 2883  
Technical Service Asia Pacific: Huntsman Performance Products / 81 Market Road, Rocklyn, Victoria / Australia 3072 / 61 3-9403 8966

[www.huntsman.com](http://www.huntsman.com)

# APÉNDICE B

## HOJA TÉCNICA DE JEFFAMINE EDR-176



### Technical Bulletin

## JEFFAMINE<sup>®</sup> 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 <sup>°C</sup>	1/95
	10/140

## JEFFAMINE<sup>®</sup> EDR-176 polyetheramine as Epoxy Curing Agent

Liquid epoxy resin <sup>1</sup>	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 visc., cP (23°C)	670	700	550	600	2200	4630
Gel time, min (200 g mass)	70	75	70	280 <sup>2</sup>	180	260
Peak exotherm temp., °C	231	215	230	65	180	135
Glass transition temp., °C	84	96	69	90	157	166
<b>Room temperature cure, 7 days</b>						
Tensile strength, psi * 0.001 (MPa)	8.9 (61.4)	9.8 (67.6)	8.4 (57.9)	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
<b>Elevated temperature cure<sup>3</sup></b>						
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 (136.8)	14.9 (102.7)
Flexural modulus, psi * 0.001 (MPa)	360 (2482)	360 (2413)	346 (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.

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

<sup>2</sup>Time (min) to 10,000cP

<sup>3</sup>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 <sup>®</sup>
Gaskets, packing	Polypropylene or TEFLON <sup>®</sup> (elastomers such as neoprene, Buna N, and VITON <sup>®</sup> 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



Enriching lives through innovation

JEFFAMINE<sup>®</sup> 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 1-800-662-0924. 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.

1300-0281

JEFFAMINE<sup>®</sup> 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, when 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, 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 COMPOUND FOR ANY PARTICULAR USE OR PURPOSE, OR THAT ANY CHEMICAL COMPOUND OR USE THEREOF IS NOT SUBJECT TO A CLAIM BY A THIRD PARTY FOR IMPROVEMENT 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 / 10023 Woodloch Forest Drive / The Woodlands, Texas 77380 / 281-719-8000  
Technical Service US: 8000 Oakley Road / The Woodlands, Texas 77381 / 281-719-7700

Main Office Europe: Huntsman Belgium B.V.A. / Pindaan 61 / B-3078 Brebeke, Belgium / 32-2-759-8211  
Technical Service Europe: Technical Services Representative / Forestry Office / 20-2-759-8202

Main Office Asia Pacific: Huntsman Singapore PTE. / 100 Beach Road #07-02 Gateway West / Singapore 189720 / 65-6337-3380  
Technical Service Asia Pacific: Huntsman Performance Products / 81 Marine Road, Brooklyn, Victoria / Australia 30-0-91-9-8833-8888

[www.huntsman.com](http://www.huntsman.com)

# APÉNDICE C

## HOJA TÉCNICA DE JEFFAMINE D-230

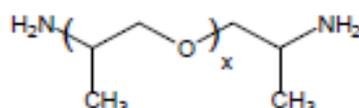
**HUNTSMAN**

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 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	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 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, $n_D^{20}$	1.4466
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, 2008 Huntsman Corporation or its affiliate(s). All rights reserved.  
JEFFAMINE® is a registered trademark of Huntsman Corporation or its affiliate(s) in one or more, but not all, countries.

0010211

Huntsman Performance Chemical materials only that its products meet the specifications stated in the sales contract. Typical properties, when stated, are to be considered as representative of actual production and should not be treated as specifications. None of the information presented in this document is intended to be relied on to represent the best available data on these products. NO GUARANTEE, WARRANTY, OR REPRESENTATION IS MADE, IMPLIED OR OTHERWISE, TO THE CORRECTNESS OR SUFFICIENCY OF ANY INFORMATION, CLAIM TO THE MERCHANTABILITY OR FITNESS 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 IMPROVEMENT 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 shipping, handling and storage procedures, and comply with all applicable safety and environmental standards.

Main Office: US: Huntsman Corporation / 10023 Woodloch Forest Drive / The Woodlands, Texas 77380 / 281.719.6000  
Technical Service US: 800 (Outside North America) / The Woodlands, Texas 77381 / 281.719.6780

Main Office: Europe: Huntsman Belgium NVMA / Herestraat 43 / B-3078 Beersel, Belgium / 32 3 758 8211  
Technical Service Europe: Technical Services Representative / Beersel Office / 32 3 758 8380

Main Office: Asia Pacific: Huntsman Singapore PTE / 100 Beach Road #07-02 Gateway@Beach / Singapore 189722 / 65 4387 3388  
Technical Service Asia Pacific: Huntsman Performance Products / 81 Market Road, Singapore, 048926 / Australia 2012 / 61 3 9233 6998

[www.huntsman.com](http://www.huntsman.com)

# APÉNDICE D

## HOJA TÉCNICA DE JEFFAMINE T-403

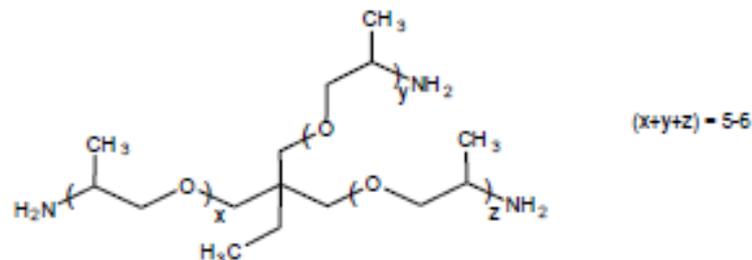
**HUNTSMAN**

Enriching lives through innovation

### 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 acetylatables, 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)
Flash point, PMCC, °C (°F)	196 (385)
pH, 5% aqueous solution	11.6
Refractive Index, n <sub>D</sub> <sup>20</sup>	1.45
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 <sup>®</sup>
Gaskets, packing	Polypropylene or TEFLON <sup>®</sup> (elastomers such as neoprene, Buna N, and VITON <sup>®</sup> 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<sup>®</sup> 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 1-800-662-0924. Samples in other locations, including Europe, are available by contacting any Huntsman Corporation sales office.

3209-0208

Copyright © 2007, 2008 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.  
JEFFAMINE<sup>®</sup> is a registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof in one or more, but not all countries.  
VITON<sup>®</sup> and TEFLON<sup>®</sup> are registered trademarks of DuPont.

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 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 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 COMPOUND 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. BUYER 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 procedures 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 / 10023 Woodloch Forest Drive / The Woodlands, Texas 77380 / 281-719-6800  
Technical Service US: 8000 Oakley Road / The Woodlands, Texas 77381 / 281-719-7790

Main Office Europe: Huntsman Belgium NVBA / Herestraat 42 / 30078 Leuven, Belgium / 32-2-759-0311  
Technical Service Europe: Technical Services Representative / Oakley Office / 20-2756-0302

Main Office Asia Pacific: Huntsman Singapore PTE / 100 Beach Road #07-02 Gateway West / Singapore 189720 / 65 4207 2000  
Technical Service Asia Pacific: Huntsman Performance Products / 81 Meisel Road, Woodvale, Victoria / Australia 3022 / 61 3 9223 8999

[www.huntsman.com](http://www.huntsman.com)

# APÉNDICE E

## HOJA TÉCNICA DE TRIETHYLENETETRAMINE (TETA)

Akzo Nobel  
Functional Chemicals AB  
Ethylenes Amines

### Product Information



**AkzoNobel**  
Tomorrow's Answers Today

## Triethylenetetramine - TETA



<b>Molecular Weight</b>	146 (Linear component) 172 (Cyclic component)
<b>CAS Reg. No.</b>	112-24-3
<b>EINECS No.</b>	203-950-6

### Synonyms

1,2-Ethanediamine, N,N'-bis-(2-aminoethyl)-  
1,8-Diamino-3,6-diazaoctane  
1,4,7,10-Tetraazaoctane

### Specification

<b>Appearance</b>	clear, pale, colored liquid
<b>Assay (Tetramines)</b>	min. 95.0% (GLC)
<b>Light Ends</b>	max. 3% (GLC)
<b>Heavy Ends</b>	max. 3% (GLC)
<b>Water</b>	max. 0.5% (KF titr.)
<b>Color</b>	max. 50 Hazen (Comparator)

Test methods are available upon request.

### Typical Properties

<b>Boiling Range</b>	approx. 270-300°C
<b>Boiling Point</b>	approx. 280°C
<b>Density</b>	approx. 0.98 kg/m <sup>3</sup>
<b>Viscosity</b>	30 mPa·s (at 20°C)
<b>Flash Point</b>	129°C (Open Cup)
<b>Vapor Pressure</b>	1.3 Pa at 20°C
<b>Refract. Index, n<sub>D</sub><sup>20</sup></b>	1.497

### Solubility

water	miscible, hygroscopic
ethanol	miscible
acetone	miscible
ether	miscible
benzene	miscible
hexane	immiscible

Corrodes copper and its alloys. Reacts with aldehydes, acids and chlorinated hydrocarbons. Reacts with water under evolution of heat (formation of hydrate). Absorbs carbon dioxide from air.

### Applications

Intermediate for the synthesis of:  
– cellulose chemicals and paper auxiliaries  
– synthetic rubber and rubber chemicals  
– coatings  
– plastics  
– auxiliaries for the recovery and processing of oil, coal and natural gas.

### Packaging

Delivered in stainless steel road tankers and bulk containers or in mild steel drums containing 200 kg net. IBC containing 1000 kg net is also available.

2009-05

No representation is warranty, expressed or implied, is made as to the accuracy or completeness of the information or data contained herein and AkzoNobel Functional Chemicals shall have no obligation or liability whatsoever with respect to any such information or data, including, but not limited to, any liability for infringement of patent or other industrial property rights. AkzoNobel Functional Chemicals disclaims all implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. AkzoNobel Functional Chemicals shall in no event be liable for incidental or consequential damages, including, without limitation, lost profit, loss of income, loss of business opportunity and any other related costs and expenses.

Akzo Nobel Functional Chemicals AB, SE-444 85 Stenungsund, Sweden

# APÉNDICE F

## HOJA TÉCNICA DE TETRAETHYLENEPENTAMINE (TEPA)

**HUNTSMAN**

Enriching lives through innovation

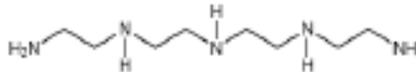
### Technical Bulletin

### 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-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

DOT/TDG Classification	Tetraethyleneamine	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 <sub>1</sub>	6.5E-5
		Ionization constants, K <sub>2</sub> , 25°C	6.5E-6

#### Chemical Control Laws

Canada, DSL	Listed	Kinematic viscosity, cSt, 25°C	54.1
United States, TSCA	Listed	Kinematic viscosity, cSt, 40°C	24.6
		Molecular weight, Linear component	189.30
		Molecular weight, Typical product	200

#### Typical Physical Properties

Amine value, mg KOH/g	1343	Nitrogen content, %	35.1
Boiling point, 760 mm Hg, °C	332	pH of 1 wt. % solution	11.5
Coefficient of expansion, 1/°C, 20°C	0.000681	Refractive index, 25°C	1.534
Density, g/ml, 20°C	0.991	Specific gravity, 20/20°C	0.993
Dielectric constant, 25°C and 1 kHz	12.0	Specific heat, cal/g °C, 20°C	0.451
Electrical conductivity, μmhos/cm, 24°C	0.0065	Surface tension, dynes/cm, 20°C	39.3
Freezing point, °C	- 30	Thermal conductivity, cal/cm-sec-°C, 20°C	0.000435
Heat of formation, kcal/mol	- 19.7	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 LD<sub>50</sub> 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.

5008-0008

Huntsman Corporation  
Business Offices  
10003 Woodloch Forest Dr.  
The Woodlands, TX 77380  
(281) 719-8000

Huntsman Advanced Technology  
Center  
Technical Service  
8800 Gosling Rd.  
The Woodlands, TX 77381  
(281) 719-7780

Samples 1-800-662-0924

[www.huntsman.com](http://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 SIMPLY 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 G

## HOJA TÉCNICA DE CLOISITE 93A

SOUTHERN CLAY PRODUCTS / A SUBSIDIARY OF ROCKWOOD SPECIALTIES, INC.

### PRODUCT BULLETIN/Cloisite®



ROCKWOOD  
ADDITIVES

Southern Clay Products, Inc.  
1212 Church Street  
Gonzales, TX 78629  
Phone: 800-324-2891  
Fax: 830-672-1903  
www.scprou.com

## Cloisite® 93A Typical Physical Properties Bulletin

#### Description:

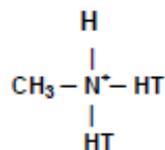
Cloisite® 93A is a natural montmorillonite modified with a ternary ammonium salt.

#### Designed Used:

Cloisite® 93A is an additive for plastics and rubbers to improve various physical properties, such as reinforcement, HDT, CLTE, synergistic flame retardant and barrier.

#### Typical Properties:

Treatment/Properties:	Organic Modifier (1)	Modifier Concentration	% Moisture	% Weight Loss on Ignition
Cloisite® 93A	M2HT	95 meq/100g clay	< 2%	39.5%



Where HT is Hydrogenated Tallow (~65% C18; ~30% C16; ~5% C14)

Anion:  $\text{HSO}_4$

(1) M2HT: methyl, dihydrogenated tallow ammonium

Typical Dry Particle Sizes: (microns, by volume)



10% less than:	50% less than:	90% less than:
2 $\mu$ m	6 $\mu$ m	13 $\mu$ m

Color: Off White

Density:

Loose Bulk, lbs/ft <sup>3</sup>	Packed Bulk, lbs/ft <sup>3</sup>	Density, g/cc
10.56	18.03	1.88

X Ray Results:  $d_{001} = 23.6 \text{ \AA}$

For additional information or technical assistance contact Southern Clay Products, Inc. toll free at 800-324-2891.

Disclaimer of Warranty: The information presented herein is believed to be accurate but is not to be taken as a warranty, guarantee, or representation for which we assume legal responsibility. This information does not grant permission, license, or any rights or recommendations to practice any form of proprietary intellectual property without obtaining the appropriate license or grant from the property owner. The information is offered solely for your consideration, investigation and verification, but you must determine the suitability of the product for your specific application. The purchaser assumes all risk of use of handling the material, including but not limited to transferring the material within purchaser's facilities, using the material in applications specified by the purchaser and handling any product which includes the material, whether or not in accordance with any statements made herein.

## APÉNDICE H

### CÁLCULO DE LAS CONCENTRACIONES UTILIZADAS

NOMBRE	EEW (g/eq)	AHEW (g/eq)	Viscosidad (Pa*s)	Viscosidad (cst)	Densidad (g/ml)
<b>GE-60</b>	177,5		13		1,285
<b>TEPA</b>		27	0,027		0,99
<b>TETA</b>		24	0,096		0,97
<b>EDR-148</b>		37		8	0,99
<b>EDR-176</b>		44		9	0,98
<b>T-403</b>		81,00		72	0,978
<b>D-203</b>		60		9,5	0,948

		PHR	gr resina	gr Amina
<b>GE-60</b>	<b>TEPA</b>	15,21126761	10,0356	1,52654
	<b>TETA</b>	13,52112676	10,3082	1,39378
	<b>EDR-148</b>	20,84507042	10,0960	2,10452
	<b>EDR-176</b>	24,78873239	10,4640	2,59389
	<b>T-403</b>	45,63380282	10,1538	4,63357
	<b>D-230</b>	33,8028169	10,1368	3,42652

$$phr = \frac{AHEW * 100}{EEW}$$

$$phr = \frac{27 * 100}{177,5}$$

$$phr = 15,21126$$

$$gr\ amina = \frac{gr\ resina * phr}{100}$$

$$gr\ amina = \frac{10,0356 * 15,21126}{100}$$

$$gr\ amina = 1,52654$$

		<b>PHR (r+a+ar)</b>	<b>gr resina</b>	<b>gr Amina (res+ar)</b>	<b>cantidad de arcilla</b>	<b>Sumatoria Ar+re</b>	<b>Ar+re</b>
<b>GE-60</b>	<b>TEPA</b>	14,48692	10,2172	1,48016	0,5109	10,7281	186,375
	<b>TETA</b>	12,87726	9,8302	1,26586	0,4915	10,3217	186,375
	<b>EDR-148</b>	19,85245	9,7714	1,93986	0,4886	10,2600	186,375
	<b>EDR-176</b>	23,60832	9,8587	2,32747	0,4929	10,3516	186,375
	<b>T-403</b>	43,46076	10,5034	4,56486	0,5252	11,0286	186,375
	<b>D-230</b>	32,19316	8,1250	2,61569	0,4063	8,5313	186,375

$$arc + res = \frac{EEW * Sumatoria (ar + res)}{gr\ resina}$$

$$ar + res = \frac{177,5 * 10,7281}{10,2172}$$

$$ar + res = 186,375$$

$$phr(res + am + arc) = \frac{AHEW * 100}{ar + res}$$

$$phr(res + am + arc) = \frac{27 * 100}{186,375}$$

$$phr(res + am + arc) = 14,48692$$

$$gr\ amina = \frac{phr(res + am + arc) * gr\ resina}{100}$$

$$gr\ amina = \frac{14,48692 * 10,2172}{100}$$

$$gr\ amina = 1,48016$$

		<b>PHR (mix total)</b>	<b>gr resina</b>	<b>gr Amina (mix total)</b>	<b>Cantidad de arcilla</b>	<b>Cantidad inhibidor</b>
<b>GE-60</b>	<b>TEPA</b>	14,35026	9,5868	1,3757	0,4793	0,0959
	<b>TETA</b>	12,75578	9,5262	1,2151	0,4763	0,0953
	<b>EDR-148</b>	19,66516	9,2224	1,8136	0,4611	0,0922
	<b>EDR-176</b>	23,38559	9,2892	2,1723	0,4645	0,0928
	<b>T-403</b>	43,05075	9,3726	4,0349	0,4686	0,0937
	<b>D-230</b>	32,88945	9,2490	2,9495	0,4625	0,0925

<b>Amina</b>	<b>Sumatoria res+arc+inh</b>	<b>res+ar+inh</b>
<b>TEPA</b>	10,162	188,15
<b>TETA</b>	10,098	188,15
<b>EDR-148</b>	9,776	188,15
<b>EDR-176</b>	9,847	188,15
<b>T-403</b>	9,935	188,15
<b>D-230</b>	9,804	188,15

$$ar + res + inh = \frac{EEW * Sumatoria (ar + res + inh)}{gr\ resina}$$

$$ar + res + inh = \frac{177,5 * 10,162}{9,5868}$$

$$ar + res + inh = 188,15$$

$$phr(mix\ total) = \frac{AHEW * 100}{ar + res + inh}$$

$$phr(mix\ total) = \frac{27 * 100}{188,15}$$

$$phr(mix\ total) = 14,35026$$

$$gr\ amina = \frac{phr(mix\ total) * gr\ resina}{100}$$

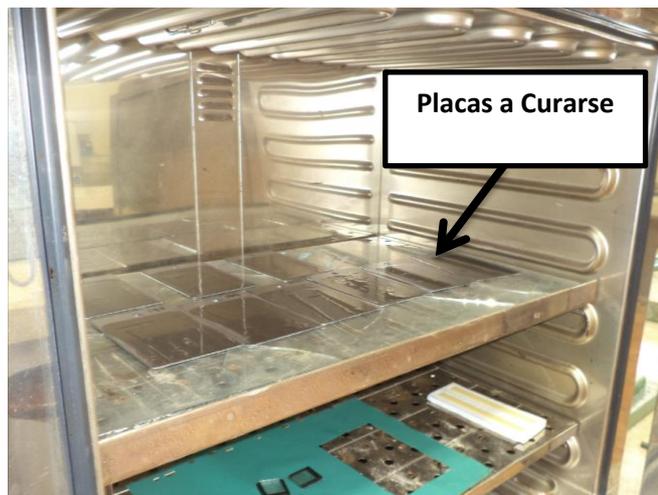
$$gr\ amina = \frac{14,35026 * 9,5868}{100}$$

$$gr\ amina = 1,3757$$

## APÉNDICE I

### ENSAYO DE ADHERENCIA

Se realizó otro ensayo de adherencia para comprobar la adherencia de los nanocompuestos en placas estandarizadas. El ensayo consistió en colocar las muestras en el horno a una temperatura de 75 °C para su respectivo curado (Figura A) en vez de realizar el curado en un espacio sin humedad a temperatura ambiente como se trabajó anteriormente.



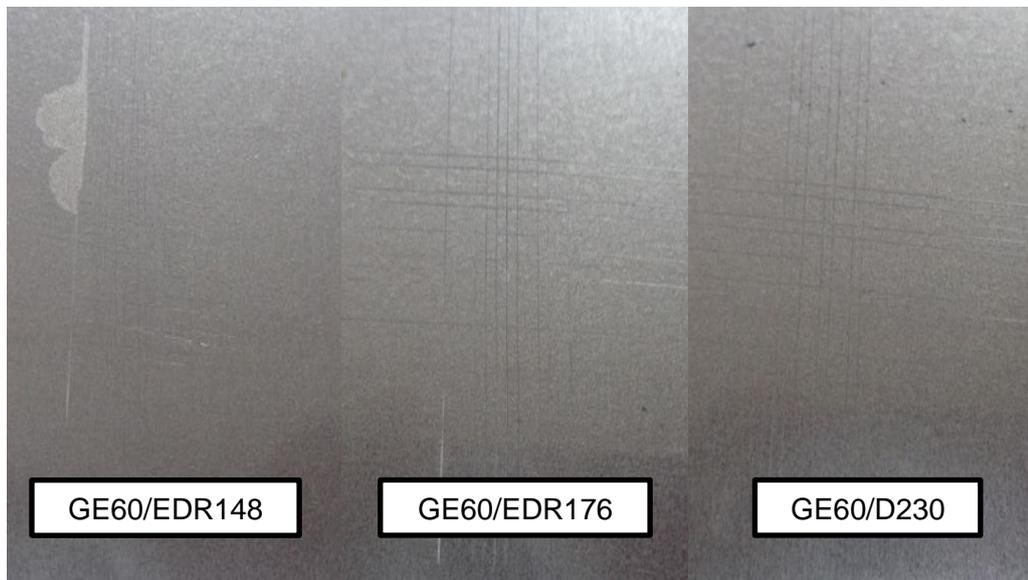
**FIGURA A. CURADO DEL RECUBRIMIENTO**

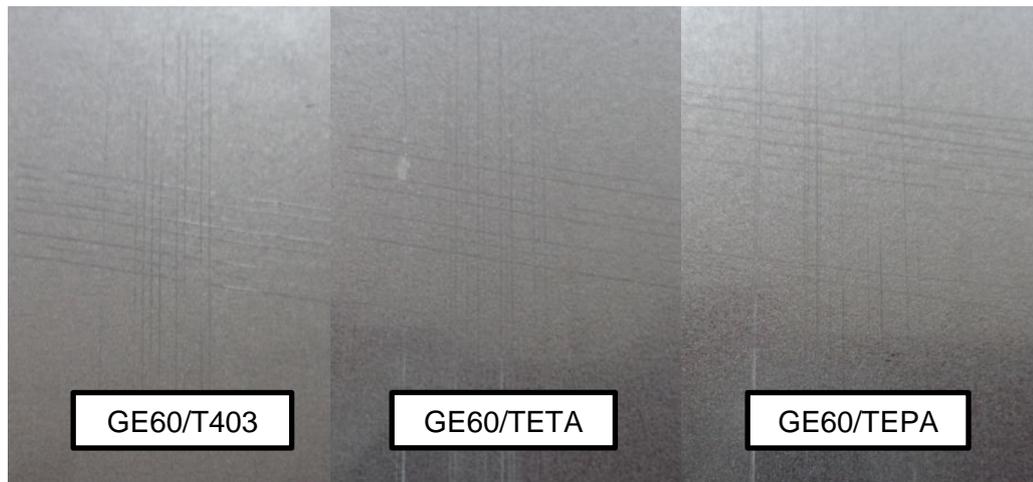
El tiempo de curado del recubrimiento en el horno es aproximadamente de 6 horas, después se procedió a realizar el respectivo análisis de adherencia de cada nanocompuesto. Los sistemas que se usaron son: GE60/EDR148, GE60/EDR176, GE60/D230, GE60/T403, GE60/TETA, GE60/TEPA.

A continuación se presentan los resultados de adherencia de los sistemas antes mencionados en la Tabla A.

Compuesto	Clasificación	% Área Removida
GE60/EDR148	3B	25%
GE60/EDR176	5B	0%
GE60/D230	5B	0%
GE60/T403	5B	0%
GE60/TETA	4B	4%
GE60/TEPA	5B	0%

**TABLA A. ADHERENCIA DE COMPUESTOS CONVENCIONALES**





**FIGURA B. ESAYO DE ADHERENCIA**

En general por medio de este método de curado se logró buenos resultados en comparación con el procedimiento de curado a temperatura ambiente por 7 días. Esto indica que es preferible trabajar con este método ya que a una elevada temperatura de curado se obtiene una buena adherencia entre el recubrimiento y la placa, absorbiendo en su totalidad el contenido de agua que posee el recubrimiento. El contenido de agua en las muestras se las puede observar en tesis anteriores en ensayo XDR presentando picos de H<sub>2</sub>O en el análisis de la mezcla.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Abeiga P., Pérez J., Tapia A.; Investigación de Organoarcillas a base de mezcla de aminas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, (2011).
2. Chavarría Meza, Luis Eduardo.; Corrosion Engineering and Cathodic Protection” (2007).
3. Denny A. Jones.; Principles and Prevention of Corrosion, Nevada (1992).
4. Droy-Lefaix M.T. Tateo F. Chapter 11.6 Clays and Clay Minerals as Drugs. Developments in Clay Science (2006).
5. F. Bergaya, G. Lagaly.; Surface modification of clay minerals, Applied clay science (2001).
6. Giannelis EP.; Polymer-layered silicate nanocomposites: synthesis, properties and applications (1998).

7. Hendrick T. W.; La corrosión y como evitarla. (Centro Regional de ayuda técnica, Agencia Internacional para el Desarrollo) México: Editorial Santo Domingo Litógrafos, (1996).
8. H. Uhlig. Editorial URMO; Corrosión y Control de Corrosión (1962).
9. J. A. Gonzalez.; Control de la Corrosión. Estudio y medida por técnicas electroquímicas (1989).
10. L. A. Utracki.; Clay-containing polymeric nanocomposites. Rapra Technology (2004).
11. Luis Bilurbina y Francisco Liesa.; Materiales no Metálicos resistentes a la Corrosión. (1990).
12. María Teresa Cortés M., Pablo Ortiz H.; [http://www.utp.edu.co/~publio17/temas\\_pdf/corrosion.pdf](http://www.utp.edu.co/~publio17/temas_pdf/corrosion.pdf)
13. Okada A, Kawasumi M, Usuki A, Kojima Y, Kurauchi T, Kamigaito O.; Synthesis and properties of nylon-6/ clay hybrids (1990).
14. Online [[http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020147933/1020147933\\_02.pdf](http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020147933/1020147933_02.pdf)].

15. Online [<http://mineral.galleries.com/minerals/silicate.htm>].
16. Paitan Quispe Alvaro.; Corrosión de Metales. Universidad Nacional del Centro del Peru (2009).
17. Pinnavaia, T.J. y Beall.; Polymer-Clay Nanocomposites. Wiley (2000).
18. Quarmley J, Rossi A. Nanoclays: opportunities in polymer compounds. Revista: Industrial Minerals, núm: 400 (2001).
19. Saithrhu R. Gonzalez C.; Tecnología en Telecomunicaciones. <http://conocimientosnanocomposites.blogspot.com/2010/06/por-que-nanocompuestospolimericos-de.html>
20. Vanesa Restrepo.; <http://www.inpralatina.com/201111142260/articulos/pinturas-y-recubrimientos/nanotecnologia-en-pinturas-una-realidad.html>.
21. Aguilar E., Evaluación de Pinturas Anticorrosivas de Nanocompuestos a base de Resinas Epóxicas y Nanoarcillas, 2006.
22. Chen Shoong Chin, Synthesis and Characterization of Polyurethane/clay, The University of Queensland, 2002.

23. Odom, I. E. (1984). "Smectite Clay Minerals: Properties and Uses". Phil Trans. R. Soc. London. A311, pp. 391-409.
24. Zhang J. Wilkie CA. Polymer Degradation and Stability. (2003).
25. Southern Clay Product. Nanoclay. Enero 2011. [www.nanoclay.com](http://www.nanoclay.com).
26. Denny A. Jones. "Principles and Prevention of Corrosion", Nevada, 1992.
27. Sealy, Cordelia. Nanomaterials-the driving force. REvista: Nanotoday, Dic 2004.
28. Koo Joseph H, McGraw-Hill, Polymer Nanocomposites, 2006.
29. Online [[http:// www.azonano.com/article.aspx? Article ID=1832](http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1832)].
30. Online [[http:// www.sinorg.uji.es](http://www.sinorg.uji.es)].
31. Online [[http:// www.sinorg.uji.es/Docencia/QO/tema5QO.pdf](http://www.sinorg.uji.es/Docencia/QO/tema5QO.pdf)].
32. Online [[http:// www.huntsman.com](http://www.huntsman.com)].

33. Online [[http:// www.nanotubo.com.ar](http://www.nanotubo.com.ar)].

34. Baquerizo I. Luis, Estudio de la Relación Estructura, Propiedades de Barrera en Nanocompuestos a base de Resinas Epóxicas y Arcillas. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008.

35. Informe HOAR. "Report of the Committee on Corrosion and Protection" (1971).

36. González Fernández, J.A. "Control de la corrosión: estudio y medida por técnicas electroquímicas". Consejo Superior de Investigaciones Científicas (1989).

37. Cortec. Inhibidores de Corrosión de nueva generación. <http://www.cortecvci.com>.

38. Kunststoff., "Al quite de los avances", Revista PlastUnivers de Interempresas, 2004.

39. Okamoto M. Science Journals. (2006).

40. Giannelis EP, Krishnamoorti R, Manias E. *Advances in Polymer Science*. (1999).
41. R. Séguéla, F. Rietsch, Double Yield-Point in Polyethylene Under Tensile Loading, *Journals of Materials Science Letters*, 9 (1990).
42. C. Oriakhi, Nano Sandwiches, *Chemistry in Britain*, 34 (1998).
43. H.G. Jeon, H.T. Jung, S.D. Hudson, Morphology of Polymer/silicate nanocomposites-High density polyethylene and a nitrile copolymer, *Polymer Bulletin*, 41 (1998).
44. Gopakumar, T.G.; Lee, J.A.; Kontopoulou, M.; Parent, J.S. Influence of clay exfoliation on the physical properties of montmorillonite/polyethylene composites. *Polymer*, 43, (2002).
45. Dutta J, Hofmann H. *Self-Organization of Colloidal Nanoparticles*. Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology. Edited by H. S. Nalwa (2003).
46. Y. Kojima, A. Usuki, M. Kawasumi, J. *APPL. Polym. Sci.* 1993.

47. S.S. Ray, M. Okamoto, Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing, *Progress in Polymer Science*, 28 (2003).
48. Zanetti M., Camino G., Toman R., Mulhaupt R., *Polymer* vol. 42 (2001).
49. W. J. Boo, J. Liu y H.J. Sue, *Materials Science and Technology*, 22, 829, (2006).
50. R. Estevez, M.G.A. Tijssens y E Van der Giessen, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 48, (2000).
51. W.P. Liu, S. V. Hoa y M. Pugh, *Comp. Sci. Technol.*, 65, 307 (2005).
52. H.J Sue, *Polymer Engineering and science*, 31, 275 (1991).