



Evidencia Experimental de Degradación de GFRP debido a Exposición a la Humedad

Informe de Progreso I

Irene Mejia

Juan C. Obando F.

Abril 09 de 2007

Metodología

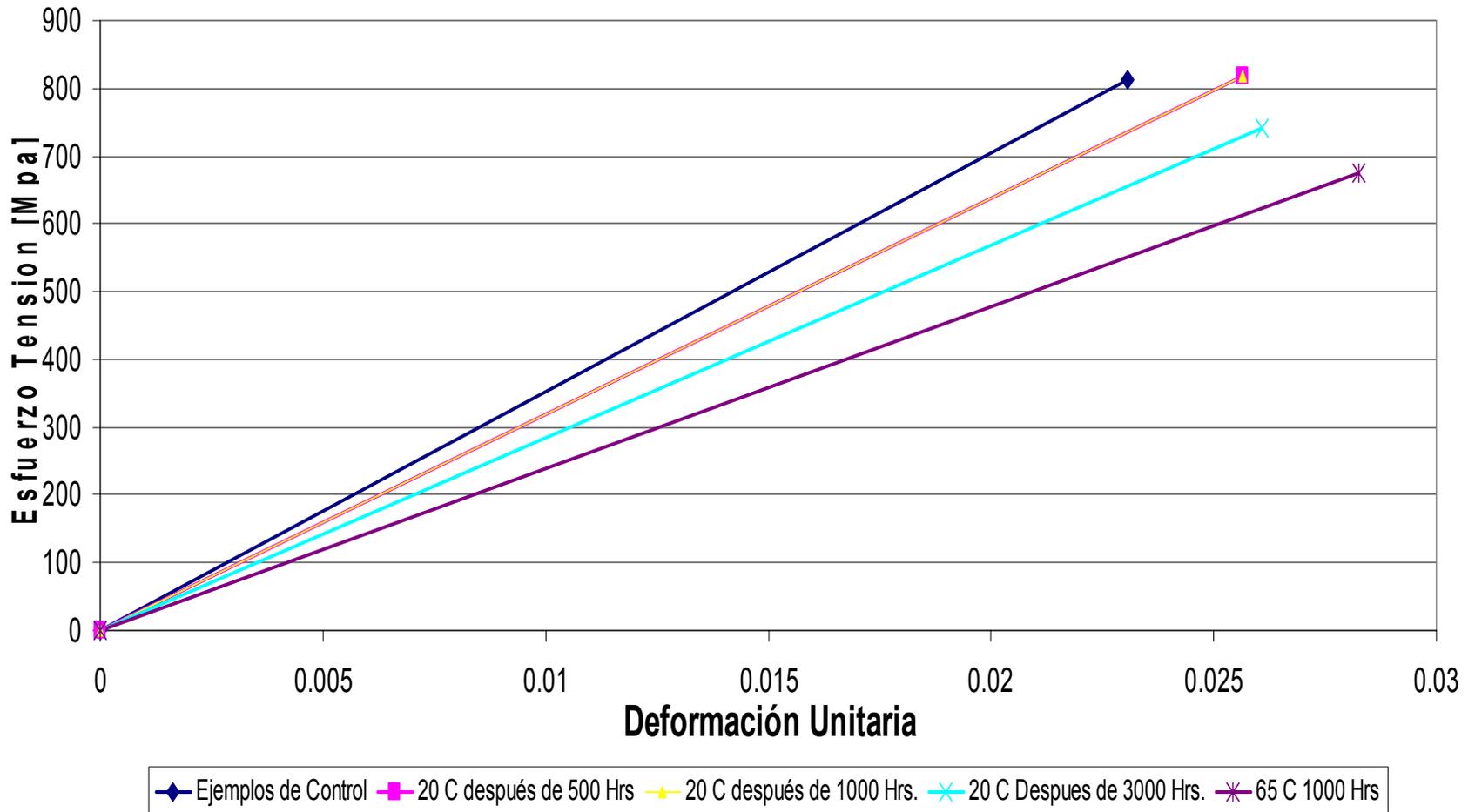
- Revisión de artículos relacionados con los materiales similares a los del proyecto.
- Clasificar la información obtenida, resaltando los datos experimentales.
- Procedencia de los materiales.
- Proceso de manufactura seleccionado.
- Prioridad a los ensayos comunes con los del proyecto:
 - Tensión
 - Fatiga
 - DMA.
 - Impacto

Abdel-Magid, B., Ziaee, S., Gass, K., and Schneider, M. (2005).

Material:

- **Compuesto E-glass/epoxy producido por el proceso de laminación continua con un F.V.F. de 52%.**
- **Las muestras fueron sometidas a un esfuerzo que producirá el 20 % de la deformación unitaria última, esta deformación se mantiene mientras las muestras se someten a condiciones ambientales, antes de fallarlas se someten a determinación de humedad.**
- **Propiedades Iniciales: 5 muestras**
Para cada condición ambiental: 3 muestras.

Curvas de Esfuerzo Deformación Unitaria Para Muestras de Control y Condicionadas



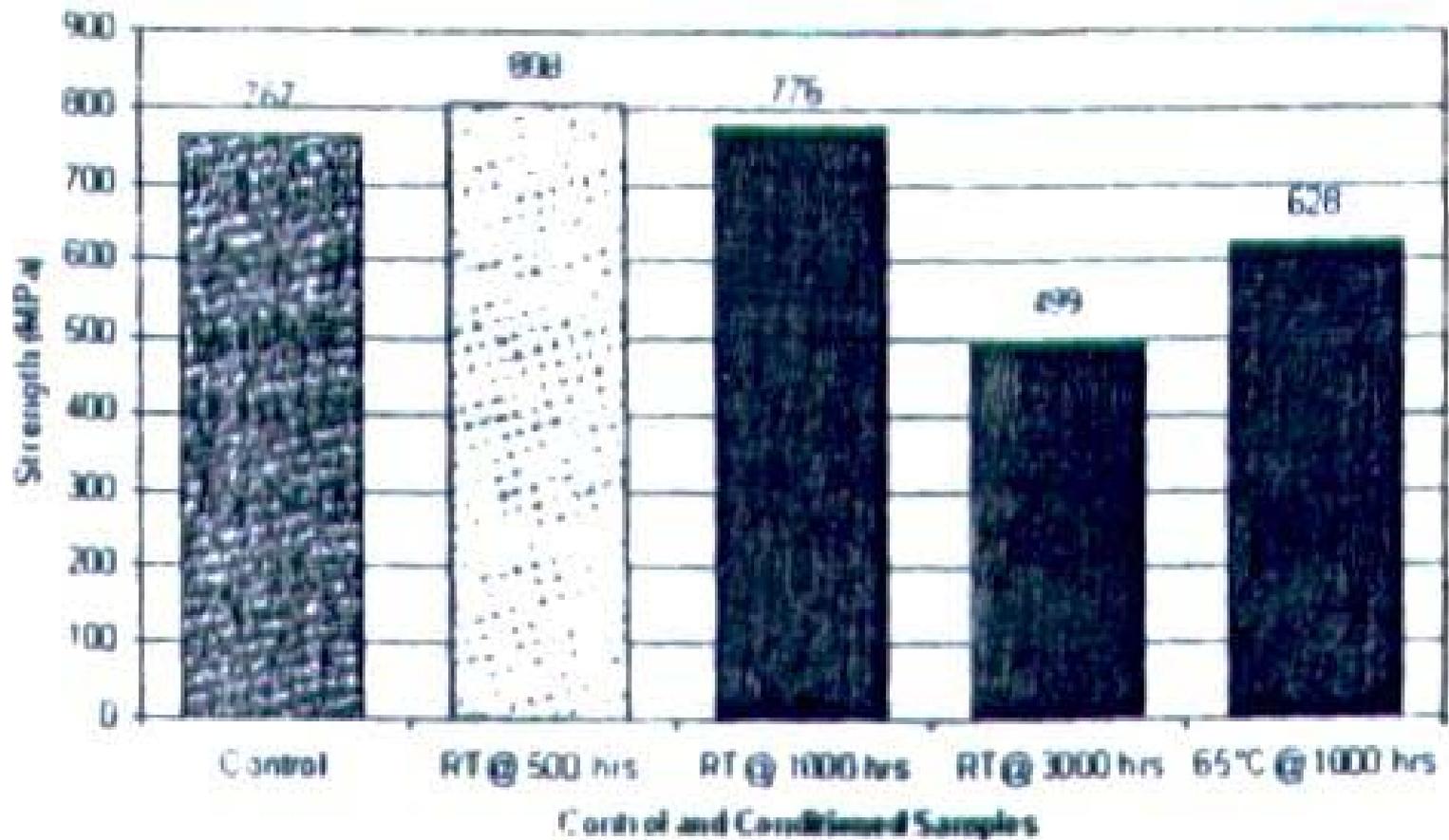


Fig. 4. Strength of control sample vs. conditioned samples.

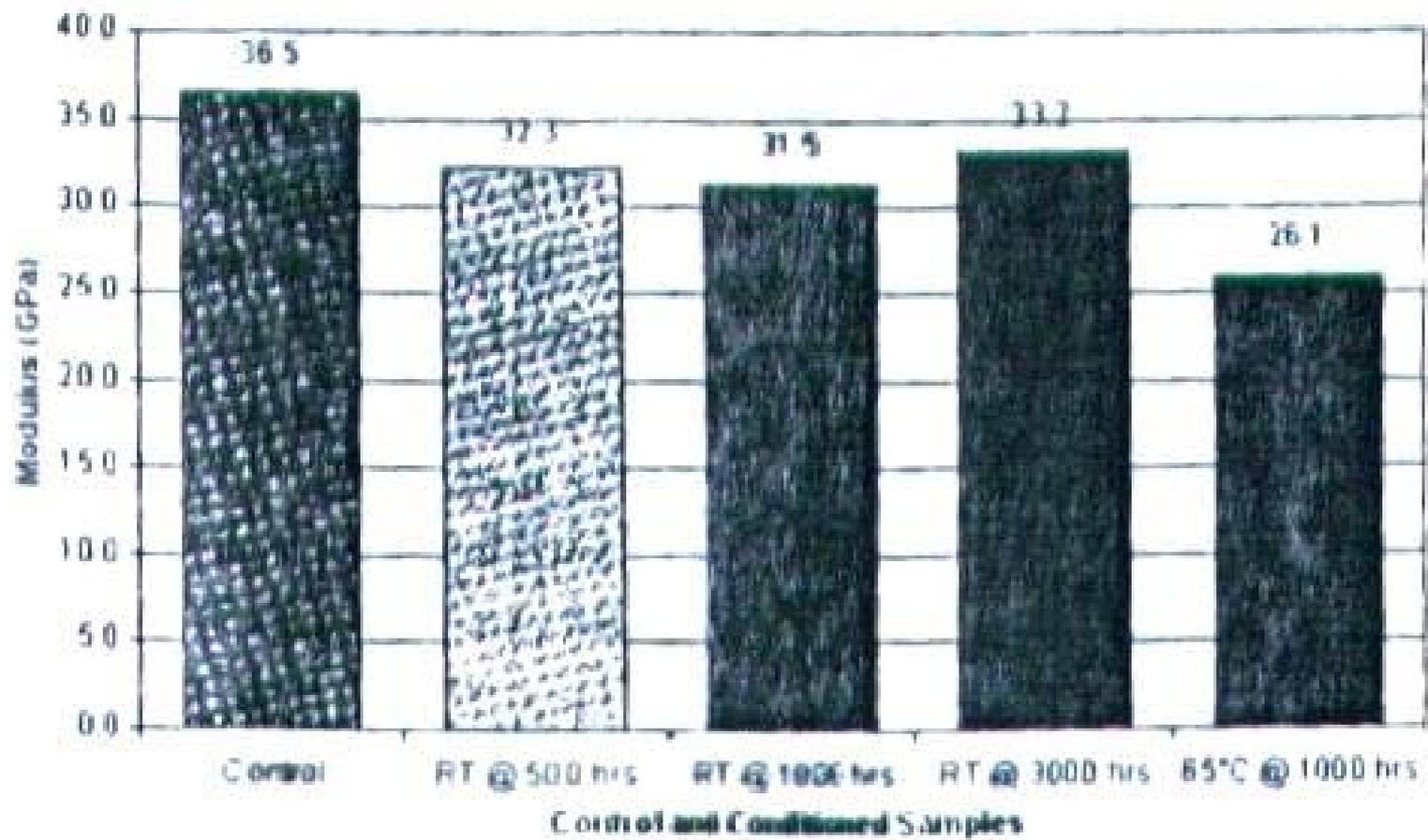


Fig. 5. Modulus of control sample vs. conditioned samples.

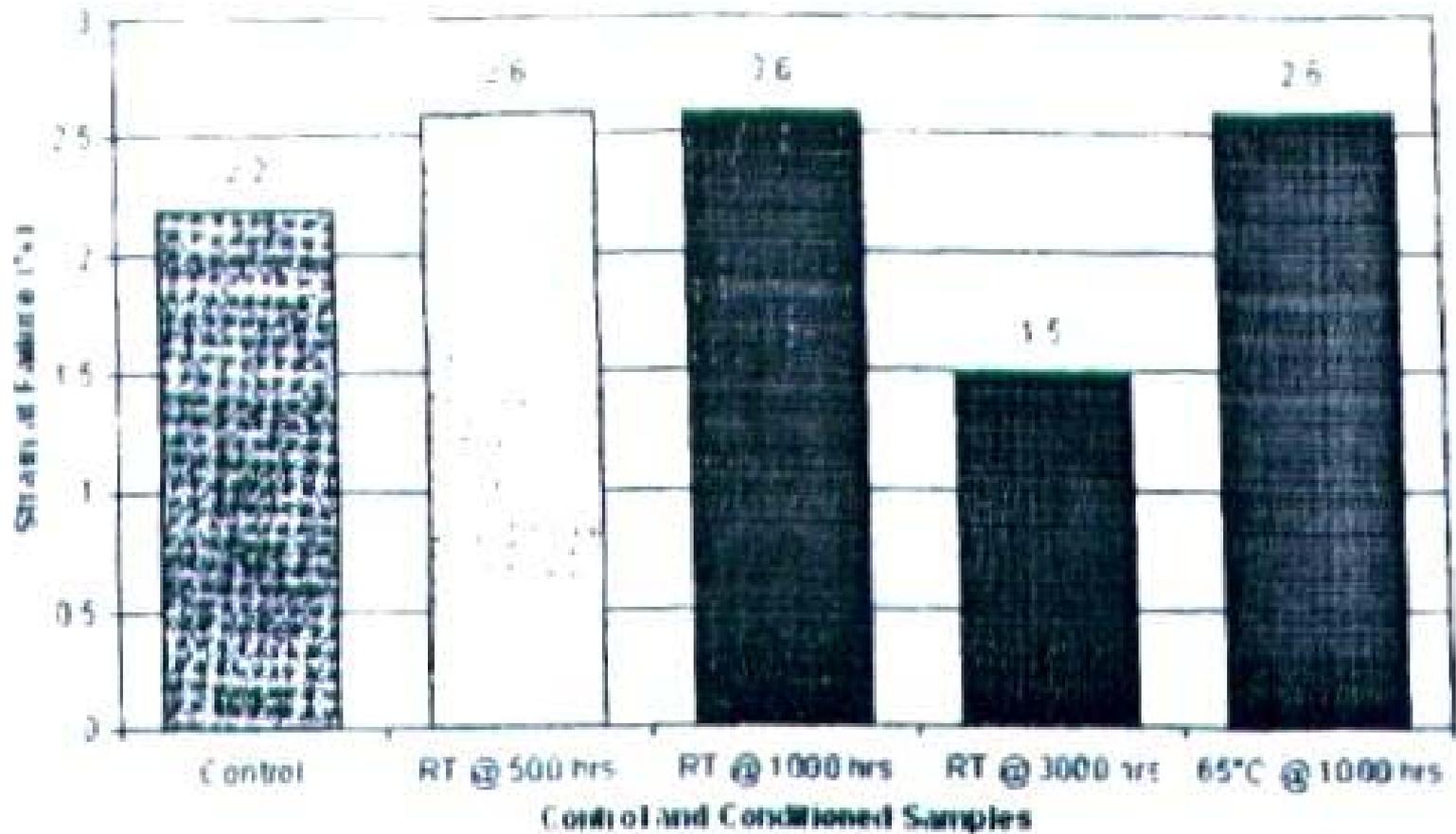


Fig. 6. Strain-to-failure of control sample vs. conditioned samples.

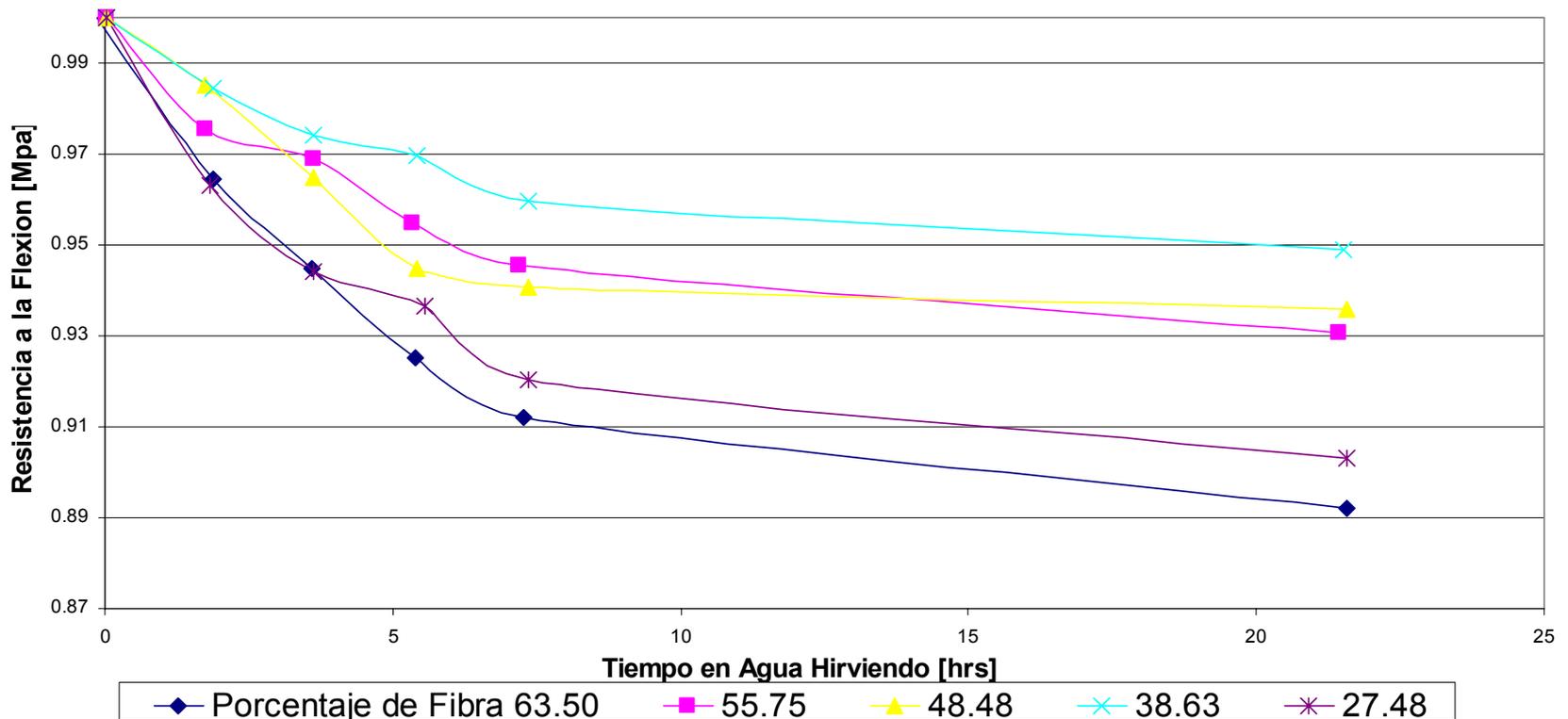
Roy, R., Sarkar, B. K., and Bose, N. R. (2001).

Material:

- Fibra de vidrio con densidad de 2.56 g/cm^3 y modulo de 72.35 Gpa .
- Resina Vinylester: Bakelite Hylame producto de grado HPR 8171 densidad 1.21 g/cm^3 y modulo de 2.5 a 4.6 Gpa .
- Las muestras fueron sumergidas en agua hirviendo. Para los porcentajes de fibra en peso: $[27.48 \ 38.63 \ 48.48 \ 55.75 \ 63.50]$, se evaluo la resistencia a la flexion y modulo.

Se Relacionaron los Datos a la Resistencia Inicial del Compuesto.
Mayor Degradacion con el Aumento de Fibra

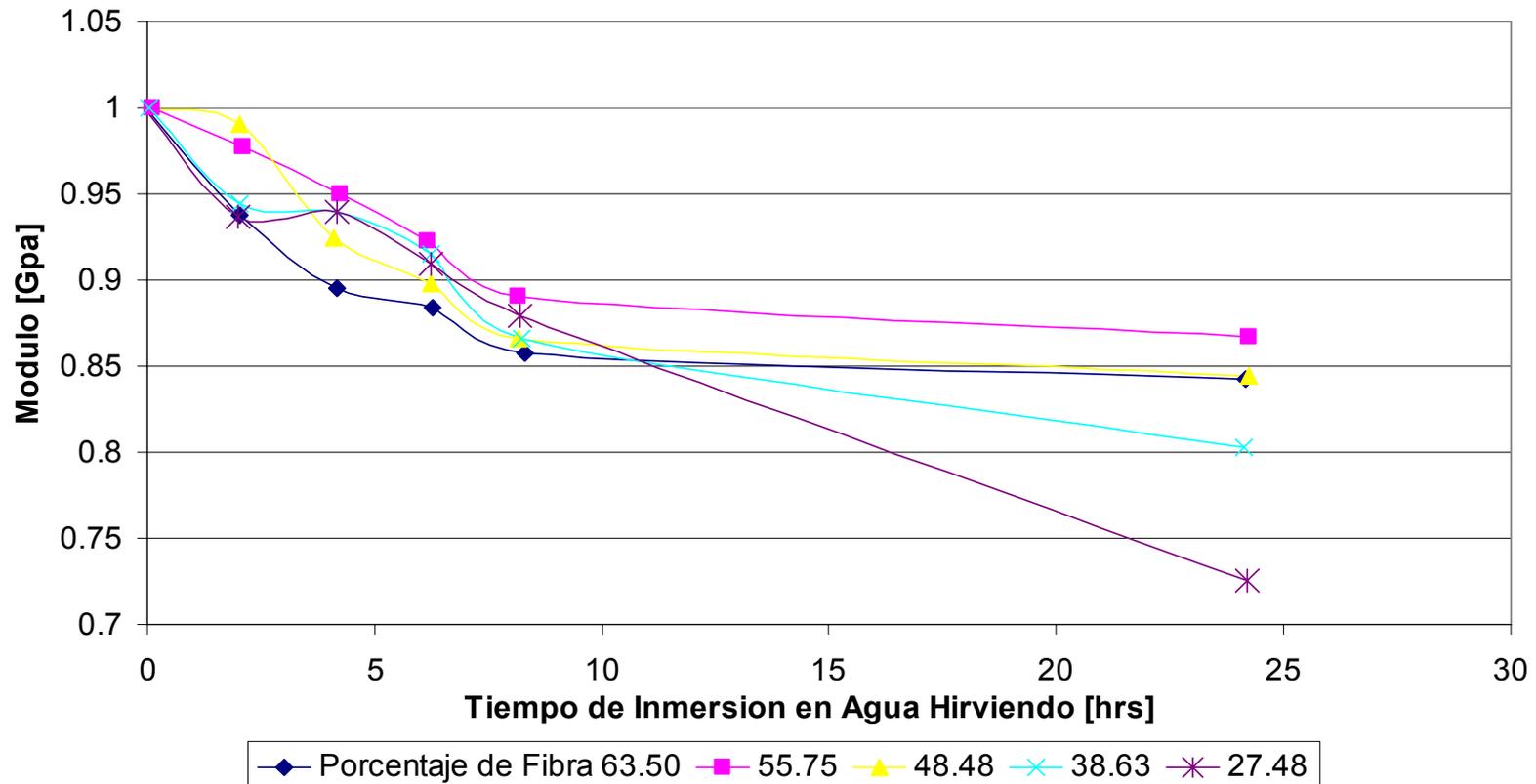
Degradacion de la Resistencia Del Compuesto



Se Relacionaron los Datos al Modulo Inicial del Compuesto Para Cada % Fibra

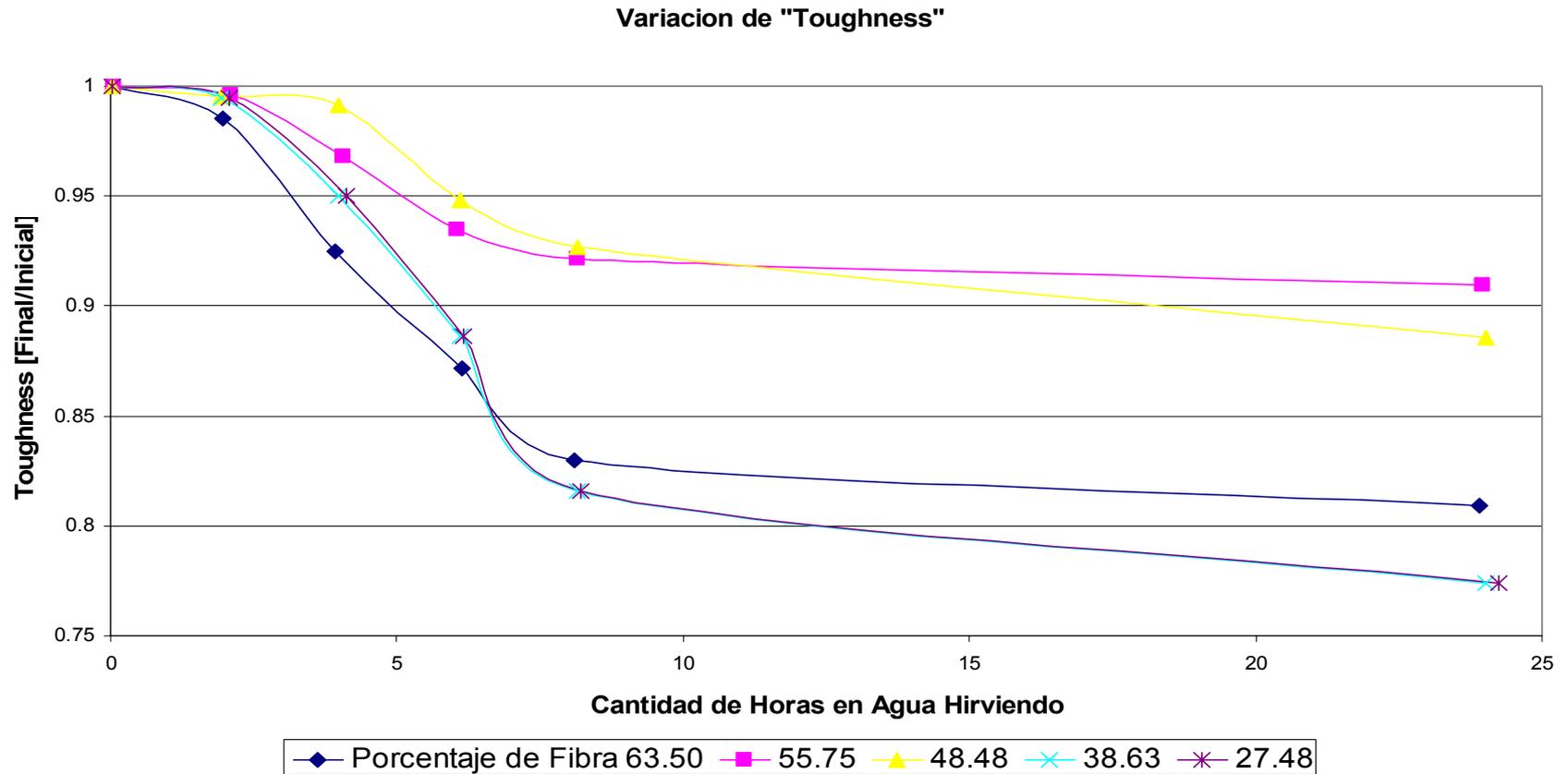
“El Valor Del Modulo Se Disminuyo En Un Valor Igual Para Cada Cada % de Fibra, Mas NO en Igual Porcentaje”.

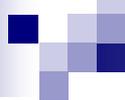
Degradación del Modulo



Cantidad de Energía Absorbida Antes de Falla: "Toughness"

No se Observa Tendencia Clara Para la Variación de Fibra





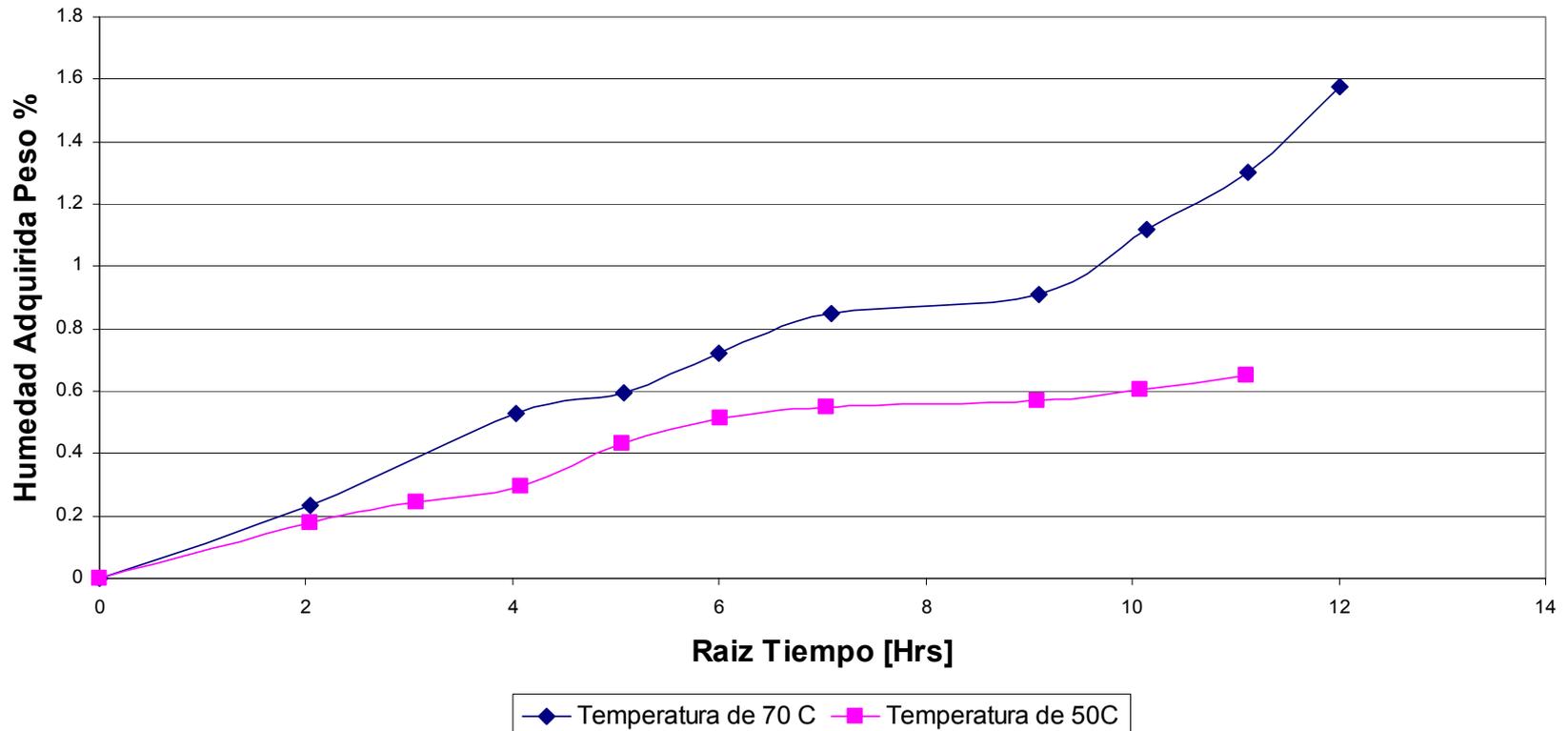
Ray, B. C. (2006).

Material:

- Compuesto con tejido de fibras de vidrio (FGP, RP-10) y resina epoxica (Ciba-Geigy, araldite LY-556 y hardener HY-951), con un porcentaje en peso de fibra de 60, las laminas fueron fabricadas con Web Lay-up Method.

Variación De La Humedad Con El Tiempo Para Diferentes Condiciones de Temperatura

Absorción de Humedad Bajo Humedad Relativa 95%



Variación de ILSS (Interlaminar Shear Strength) Para Humedad Bajo Dos Diferentes Temperaturas

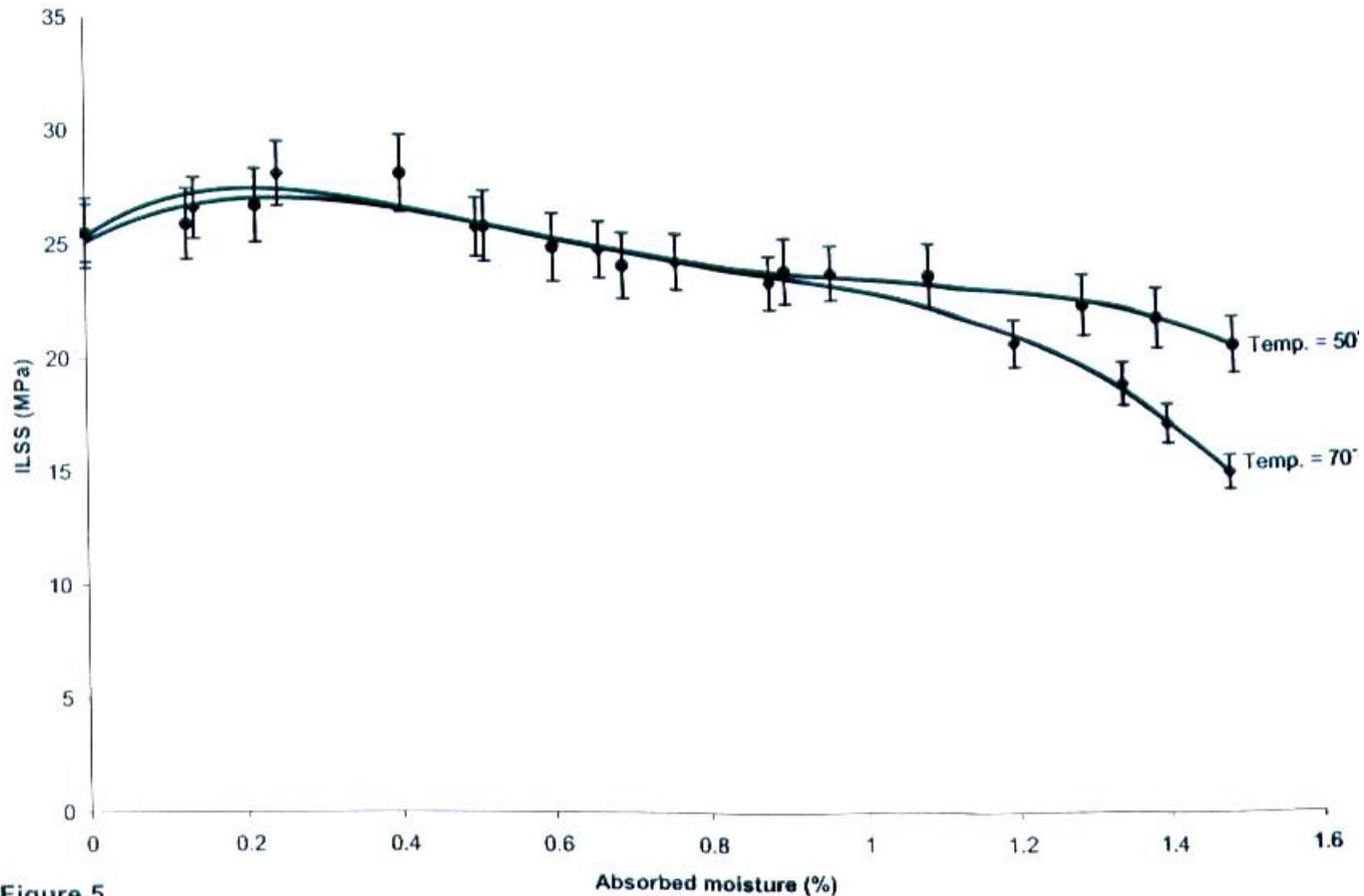
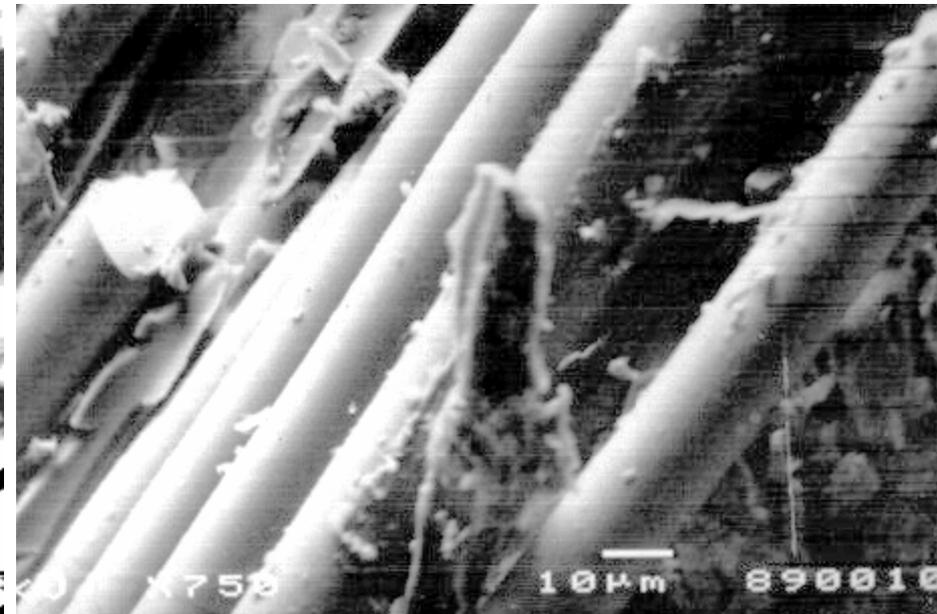
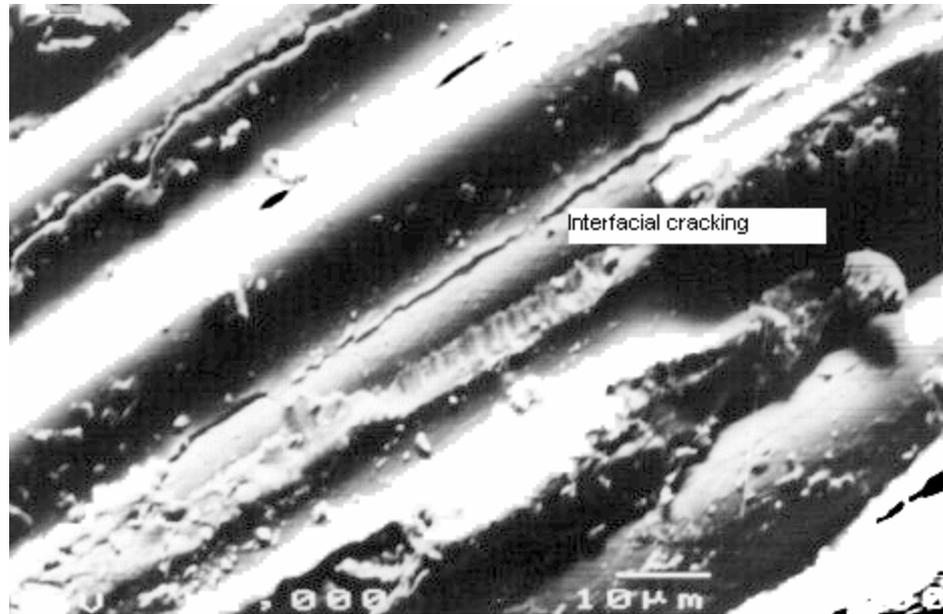


Figure 5

Scanning Electron Microscope (SEM).



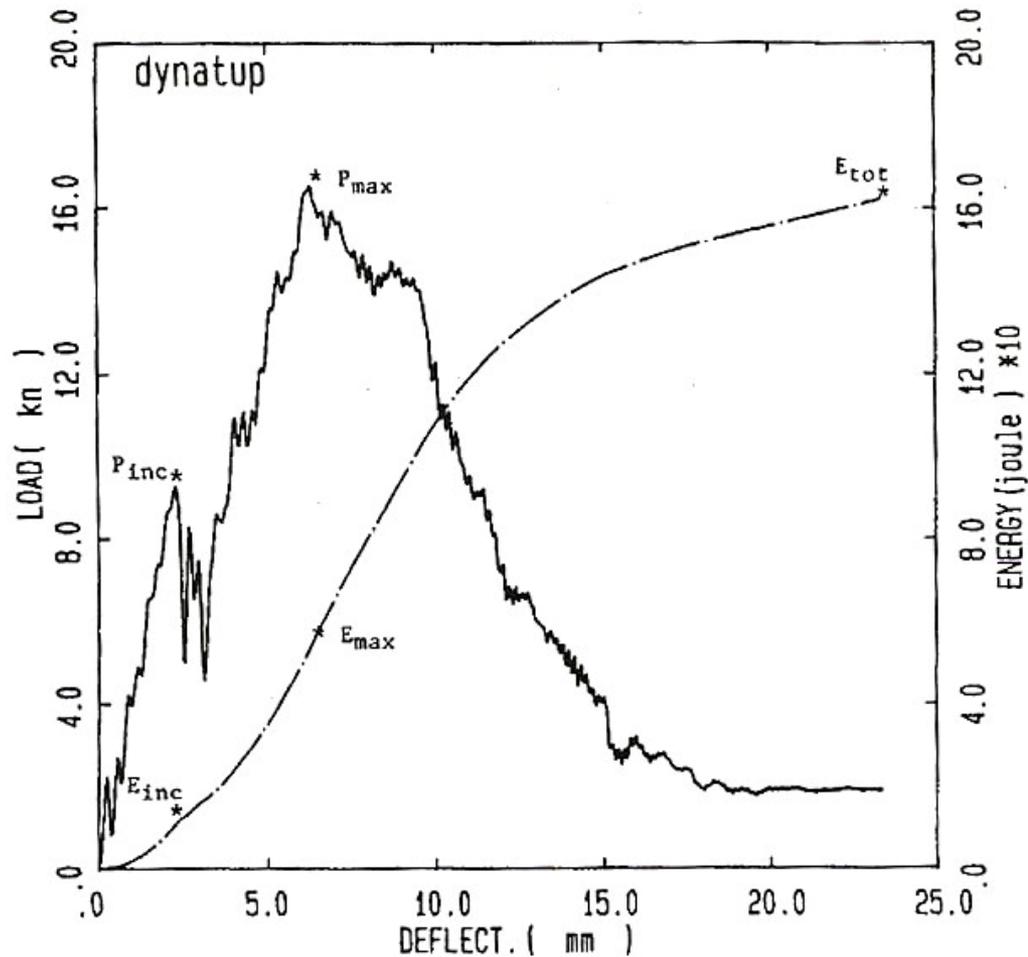
Perdida de Adherencia y Fracturamiento Interfacial
Son Evidentes En El Compuesto

Strait, Larry H., Karasek, Mark L. and Amateau Maurice F. (1992).

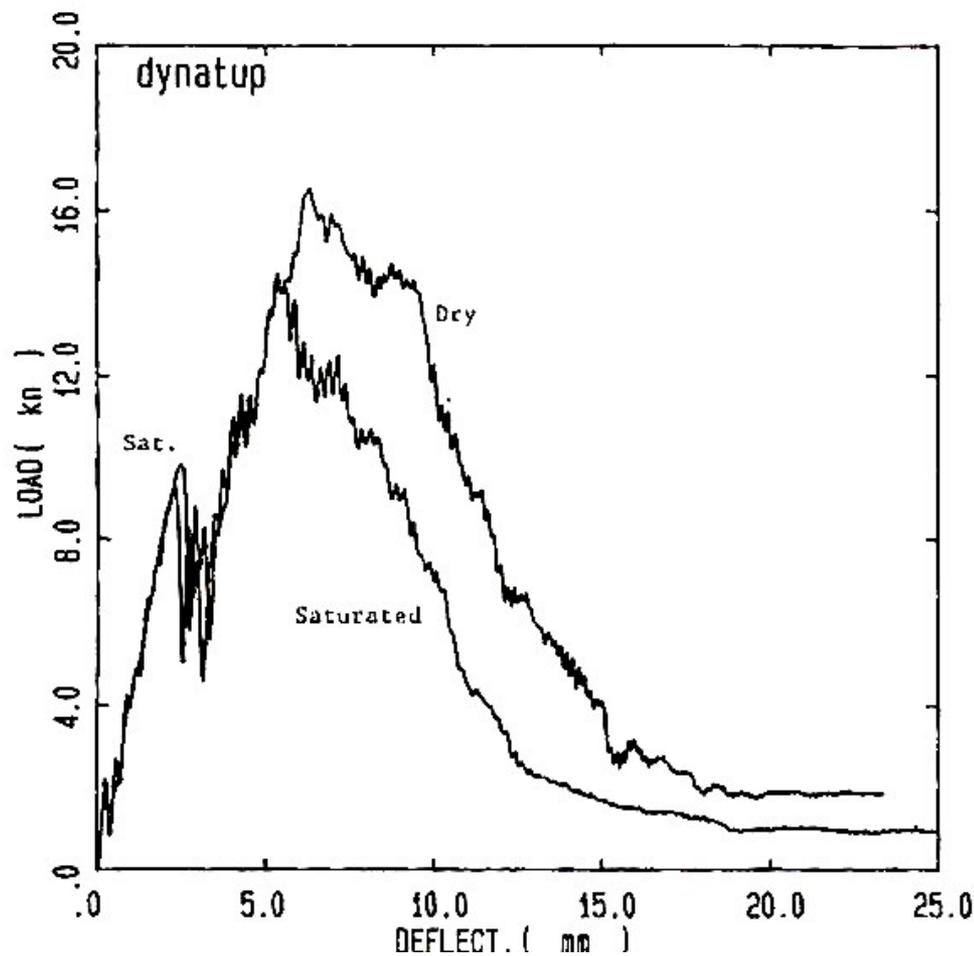
Materiales:

- Fibras continuas no tejidas en una convencional resina epoxica con un volumen de fibra igual a 53%:
SP 1002 [0/90]_{4s} y SP 1002 [0/±45/90]_{2s}.
- Otro con fibras tejidas con una resina epoxica apta para aplicaciones marinas, porcentaje de fibra de 46%:
E-Glass/5920 [(7781)₂(WR)₉(7781)₂]
- Impacto en el centro normal, velocidad 3.57 m/s, dimensiones: 10.6x10.6 cm y espesor de 0.635 cm. La respuesta del impacto fue evaluada en terminos de varios parametros y la saturacion se llevo a cabo con una simulacion de agua de mar a una temperatura de 60 grados centigrados.

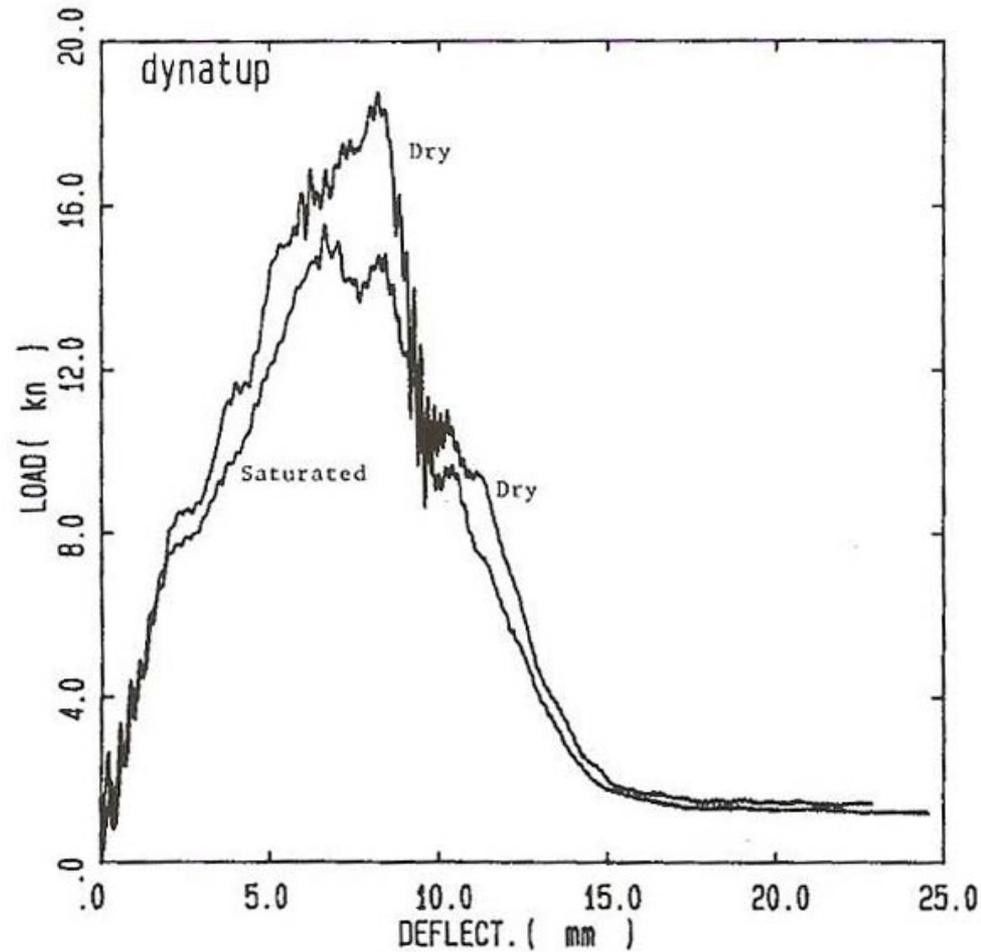
Grafica de Carga Contra Deflexión Prueba De Impacto Instrumentada SP 1002 [0/90]4s.



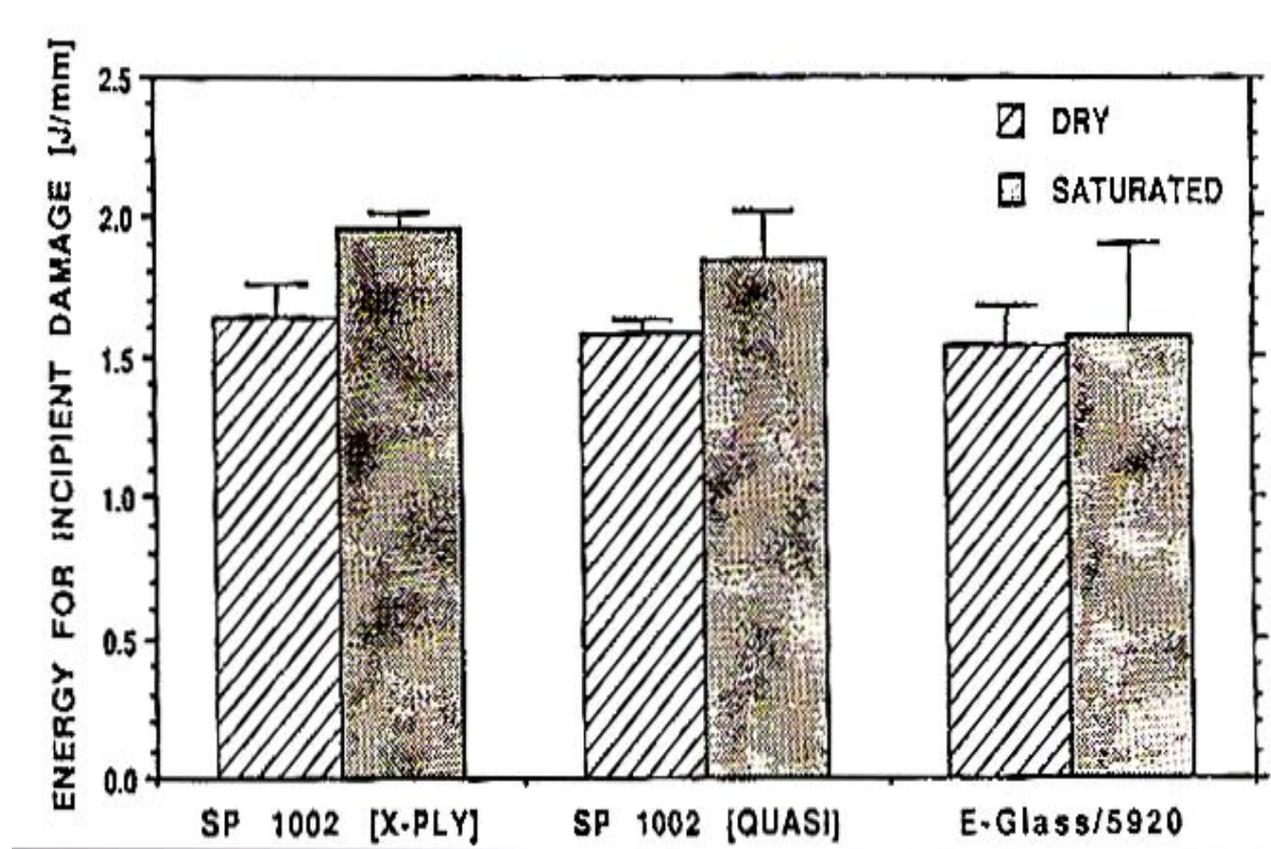
Grafica de Carga Contra Deflexión Material Saturado y Material Seco SP 1002 [0/90]4s.



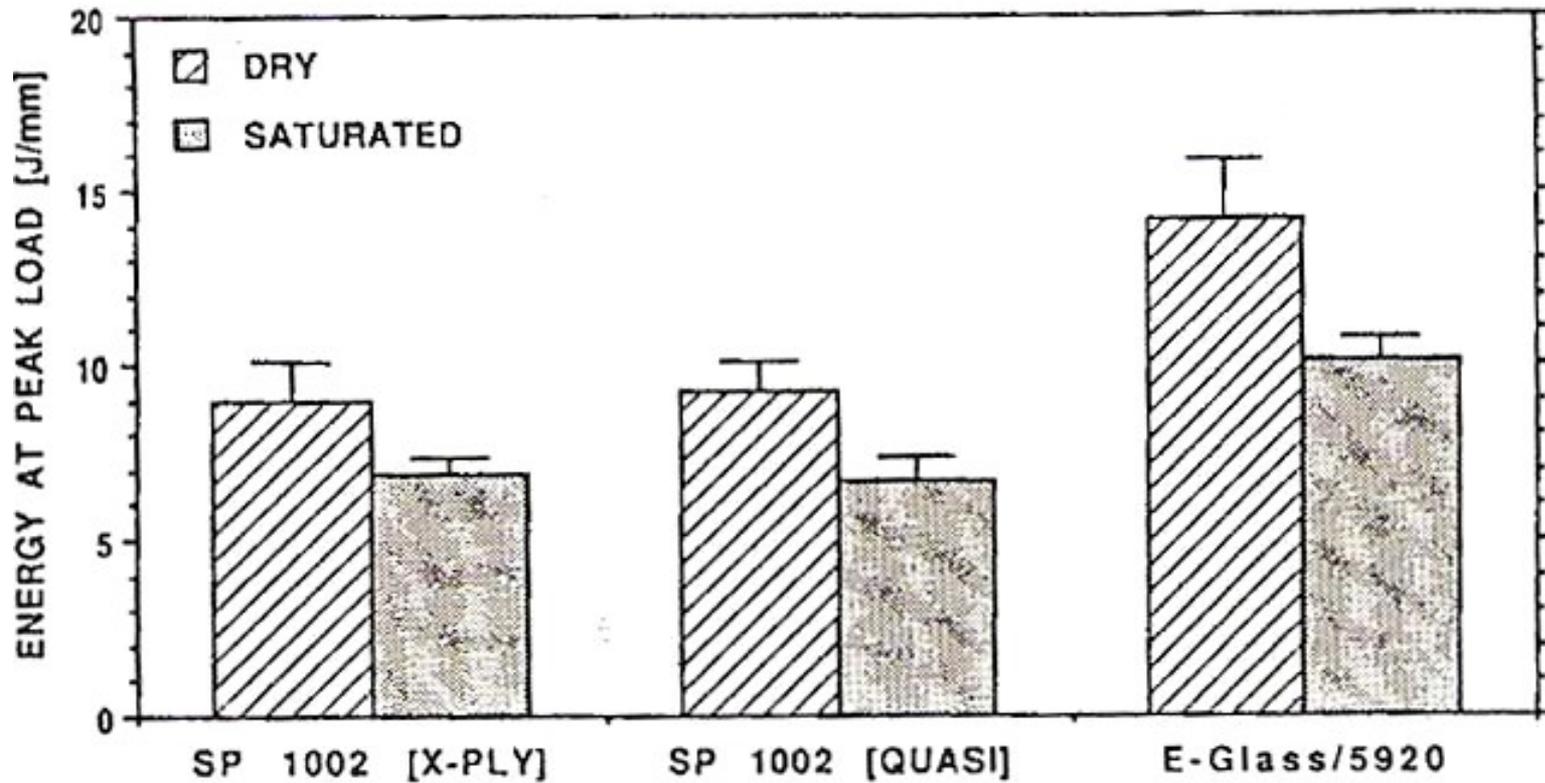
Grafica de Carga Contra Deflexión Material Saturado y Material Seco E-Glass/5920.



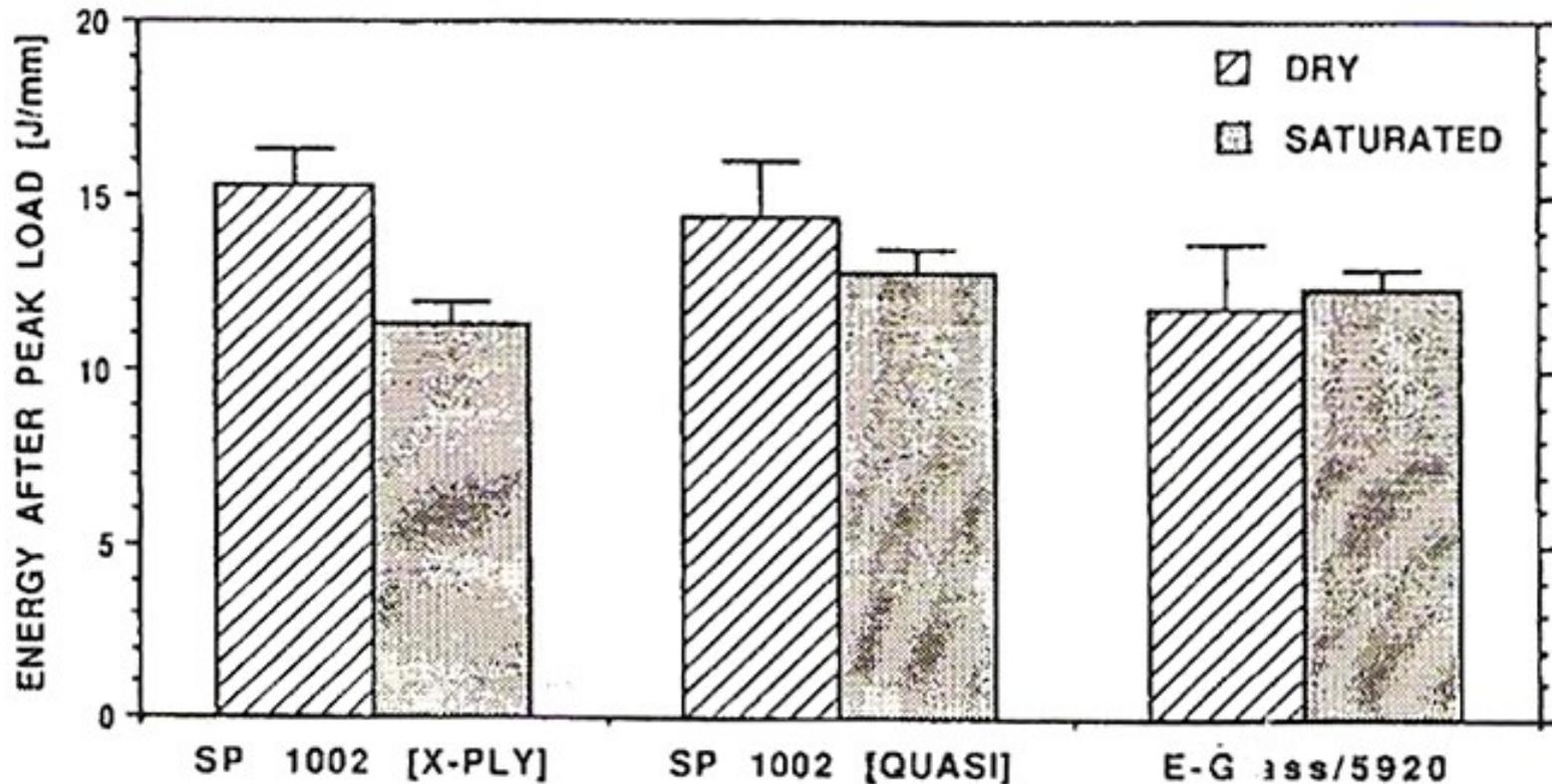
Energía Requerida Para Daño Para Los Materiales Secos y Saturados



Energía Absorbida En El Instante De Carga Maxima Materiales Secos y Materiales Saturados



Energía Después de Alcanzada la Carga Máxima Para Los Materiales En Estado Seco y Saturado



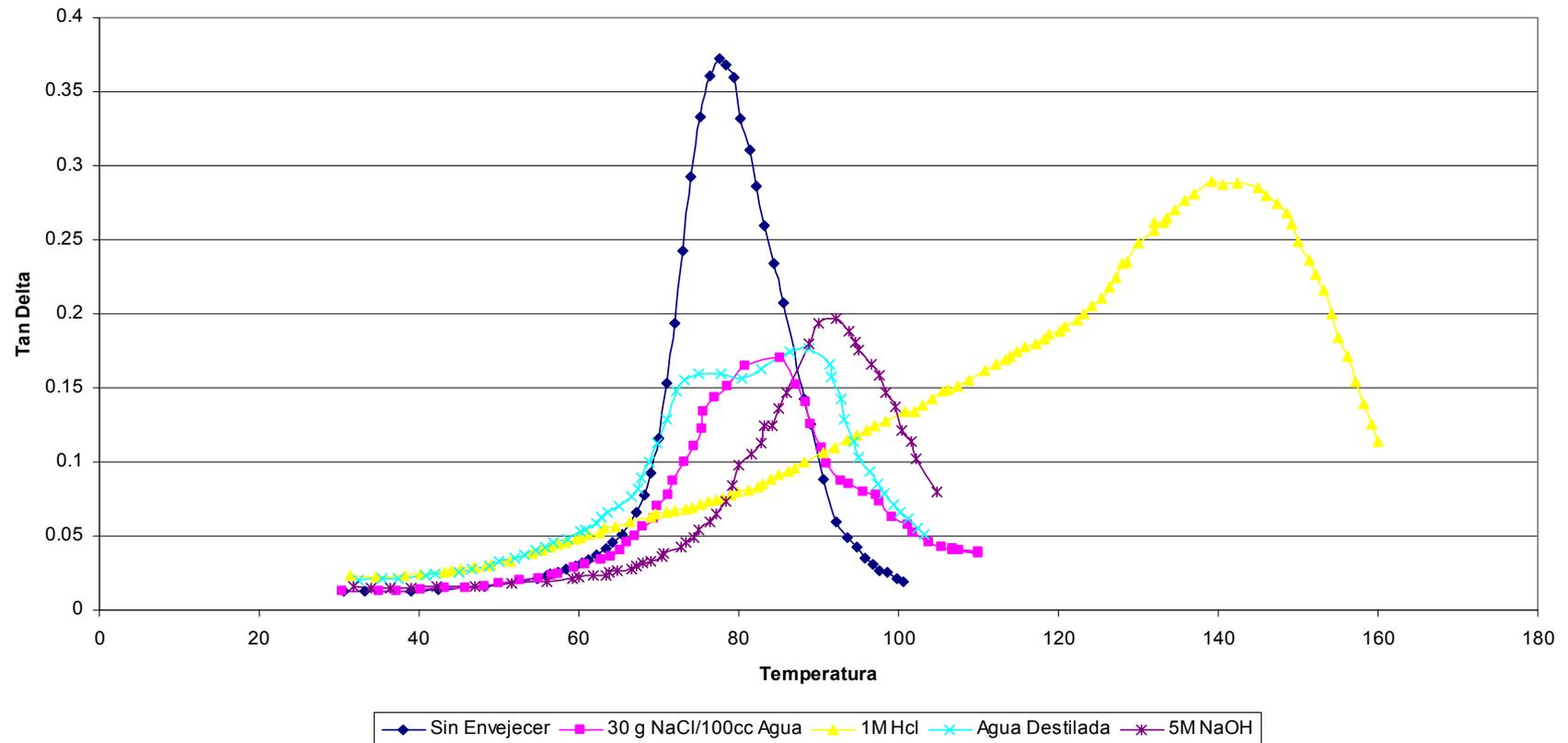
Kajorncheappunngam, S. (1999)

- **Material:Epoxy: MY 720 (Ciba-Geigy)-100**
Curing agent diaminodiphenylsulfone-49. Fiber Glass.
- **Muestras sometidas a 4 soluciones: Agua Destilada, Solucion Saturada de Sal (30g NaCl/100cc agua), y soluciones Alcalina (5 molar NaOH) y Acida (1 molar y 10 molar HCl).** Estas condiciones se combinaron con los efectos de temperatura y de carga.

Dynamic Mechanical Analysis (DMA).

Plastificacion: Cambio en Forma y Disminucion de Tg.
Efecto de Curado: Aumento de Tg.

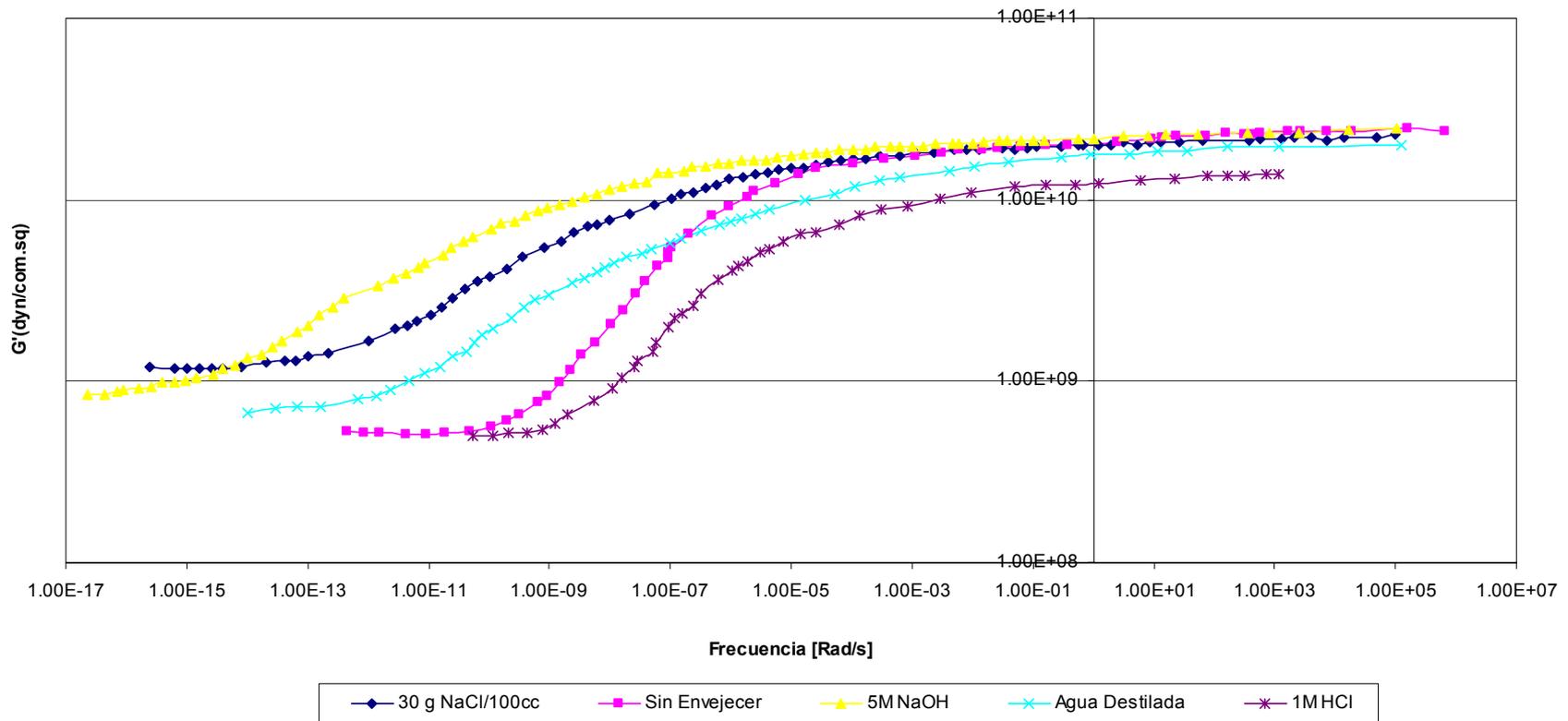
Comparacion del Compuesto Para 60 Grados Celsius Sin El Efecto de Carga Sostenida



Dynamic Mechanical Analysis (DMA).

Curva Master: Se mueven a la derecha, con respecto a la de control, ganancia de rigidez es mas rapida a 60C., la sulucion acida presenta comportamiento distinto.

Curvas Master del Compuesto



Ensayo a Tension

Grafica del Compuesto Temperatura Ambiente Diferentes Soluciones

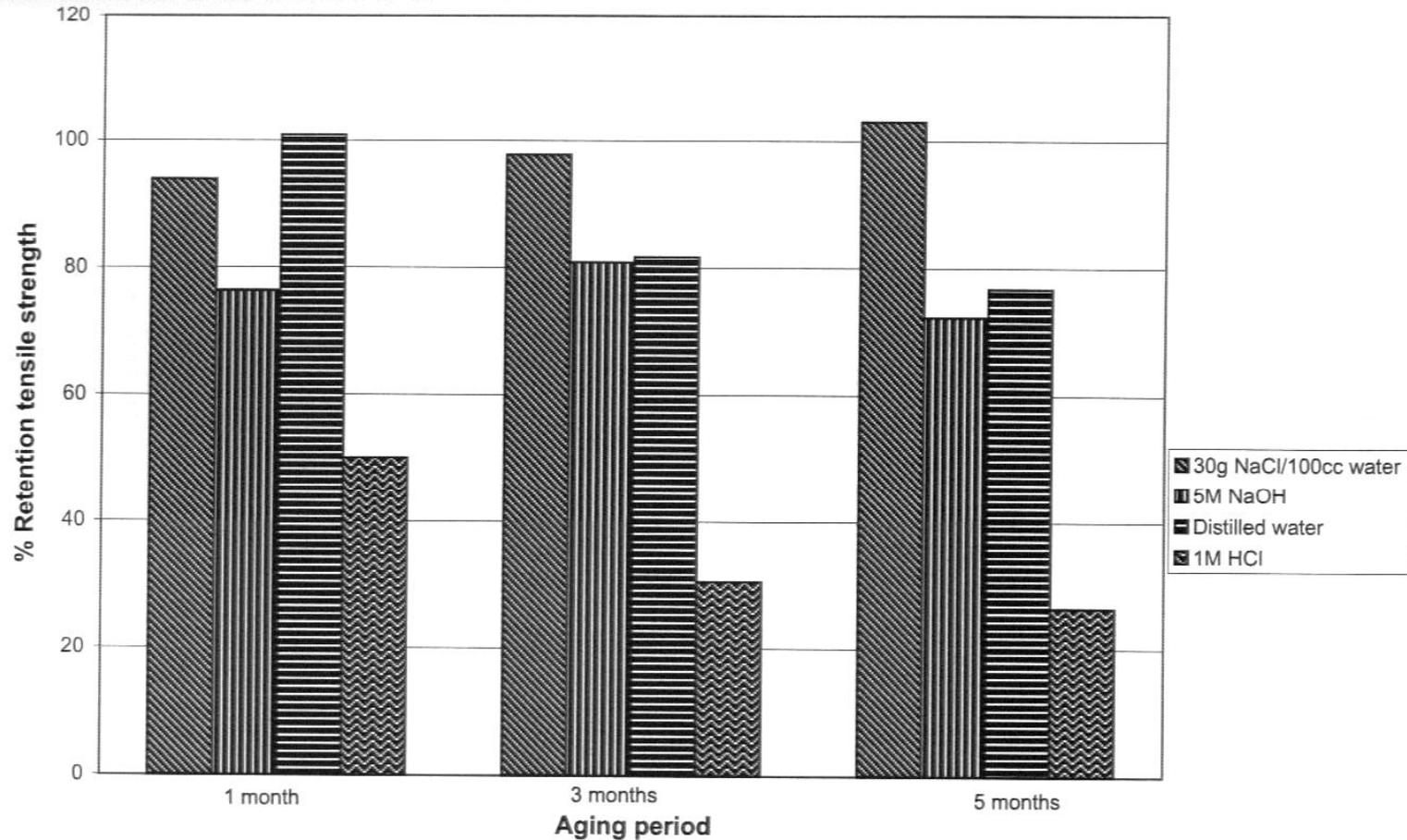


Figure 5.37 A comparison of percent retention of tensile strength of composite aged in different solutions at room temperature without sustained stress

Ensayo a Tension

Gráfica del Compuesto 60C Diferentes Soluciones

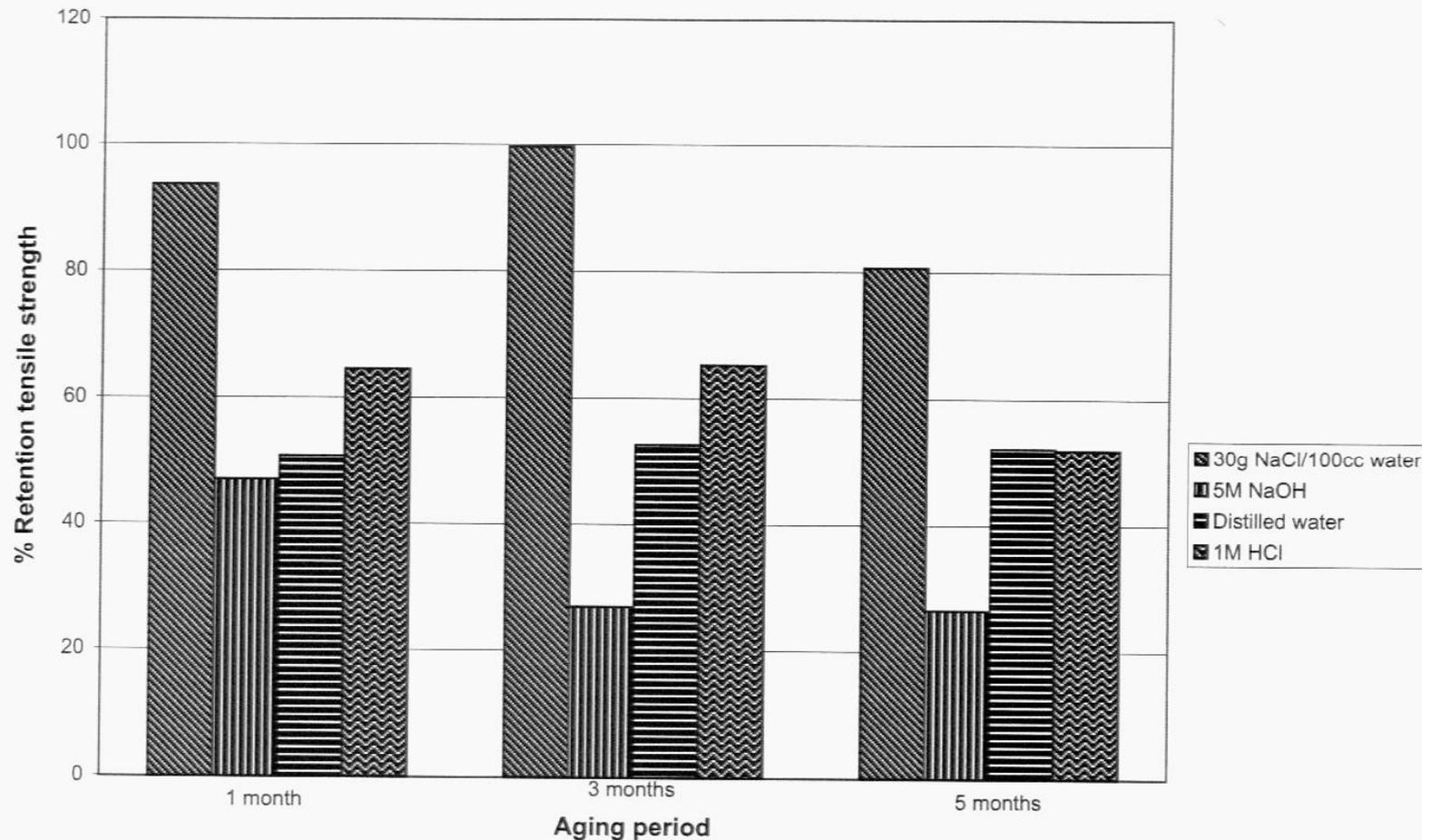


Figure 5.38 A comparison of percent retention of tensile strength of composite aged in different solutions at 60C without sustained stress

Ensayo a Tension

Grafica del Compuesto 60C

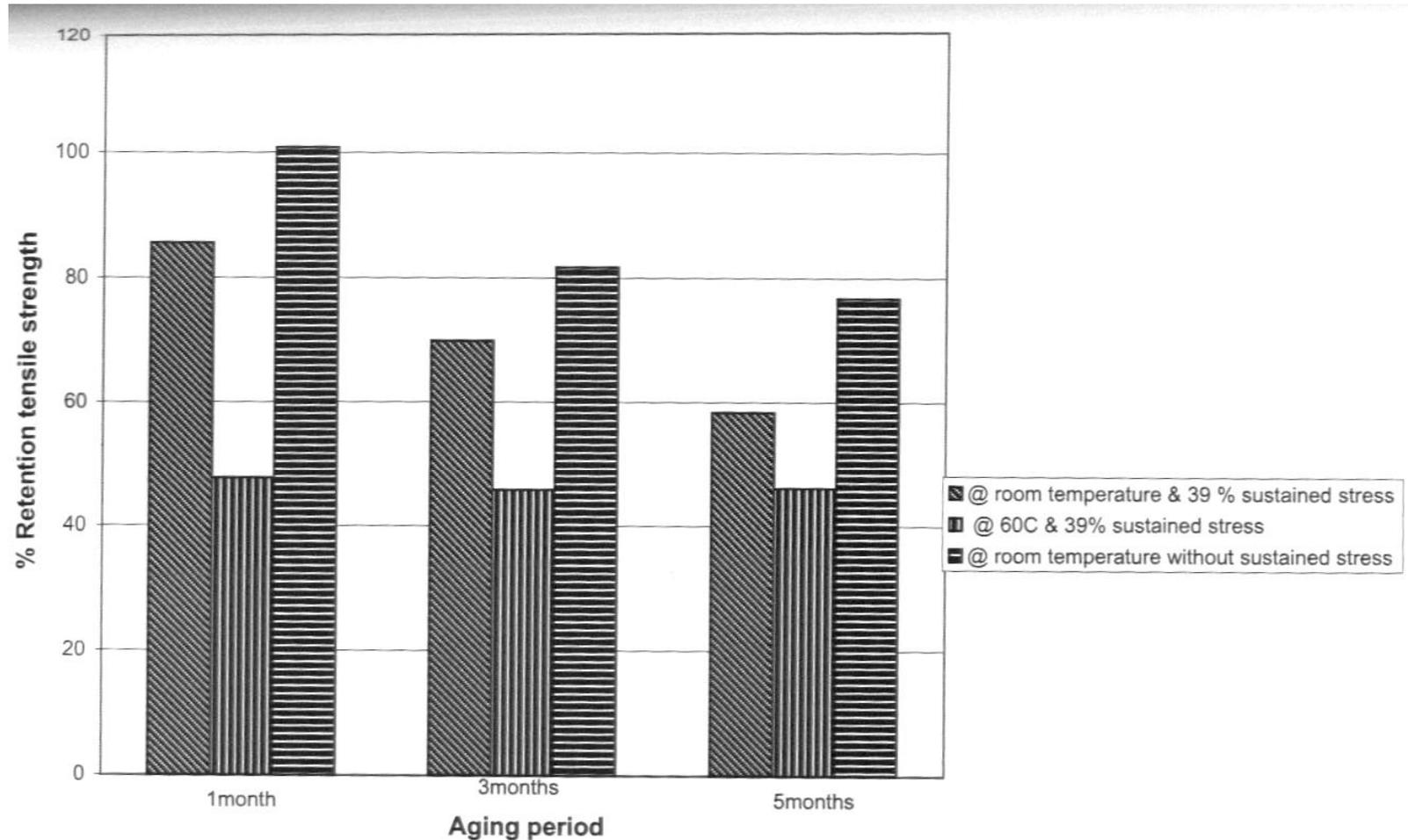
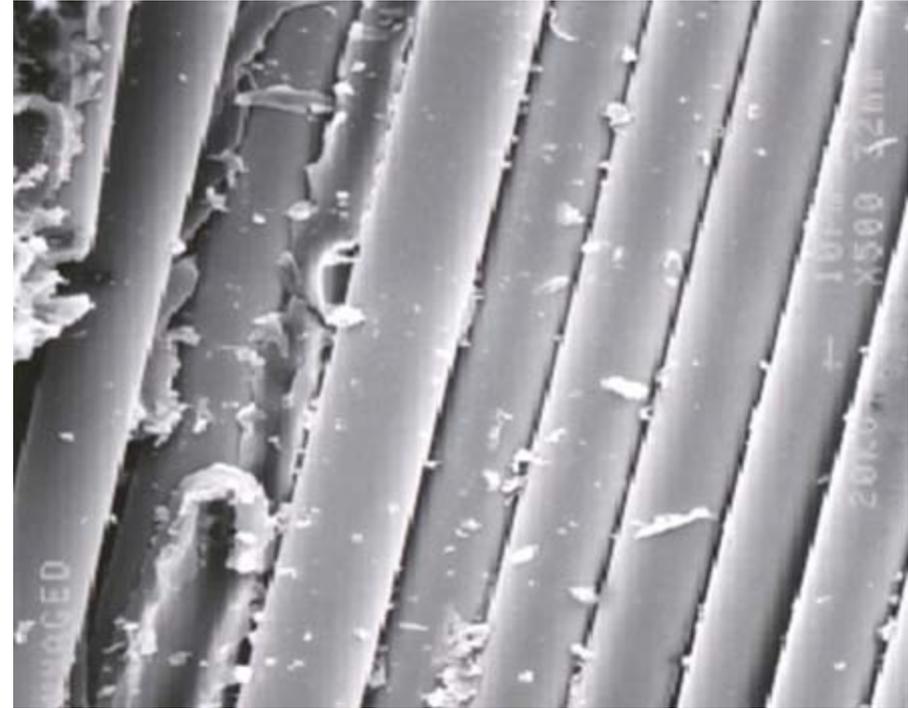
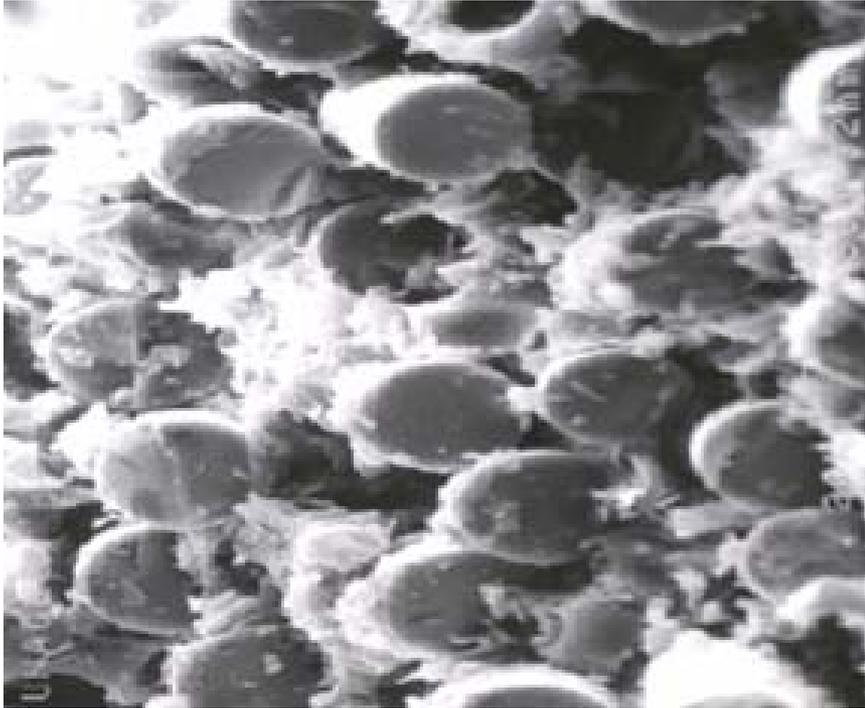


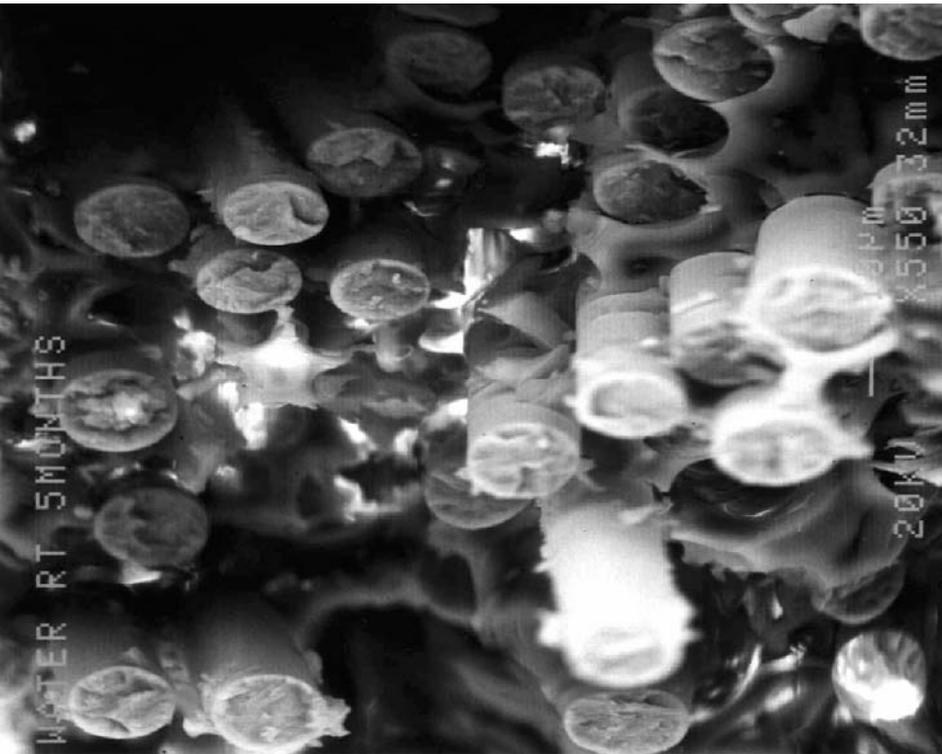
Figure 5.39 A comparison of percent retention of tensile strength of composite aged in distilled water with and without combined temperature and sustained stress

Scanning Electron Microscope (SEM).



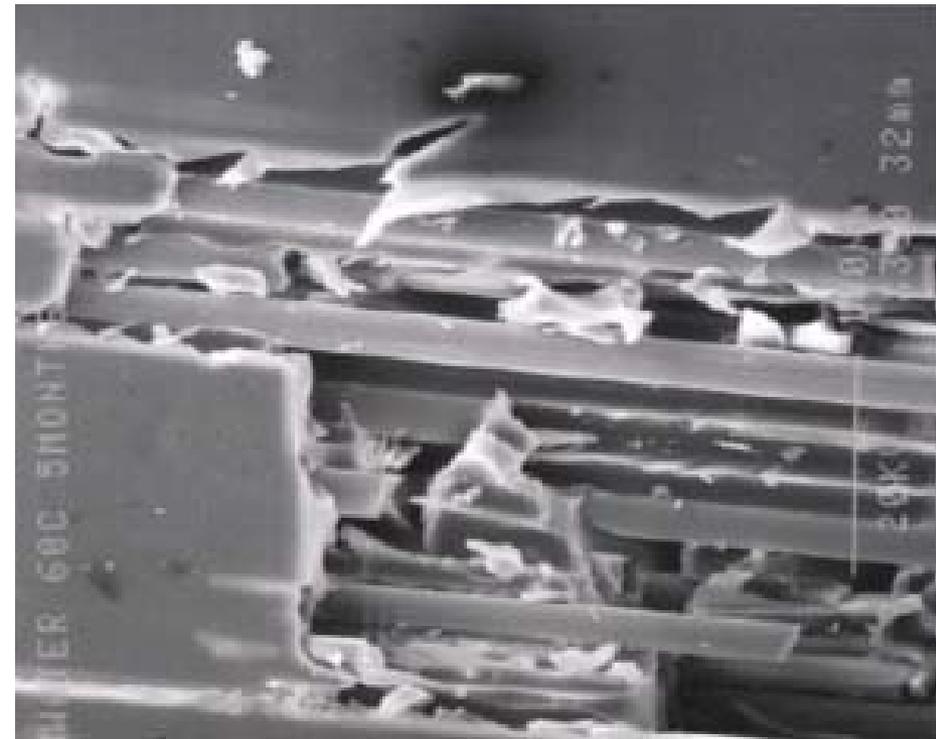
Micrograficas antes de la Exposición: Sección Transversal y Longitudinal del Compuesto

Scanning Electron Microscope (SEM).



Despues de 5 Meses En Agua Destilada: Sección transversal y Longitudinal del Compuesto

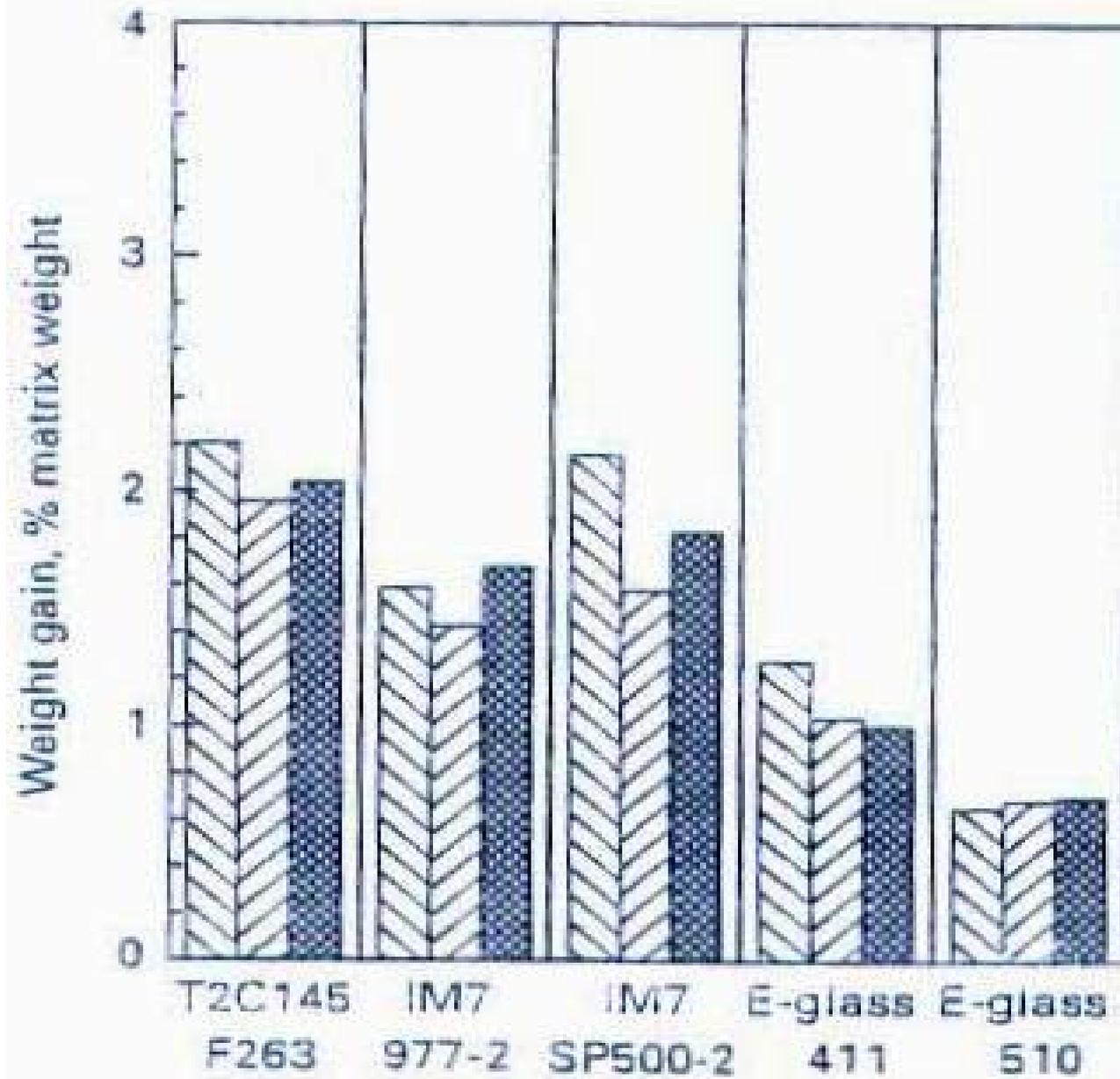
Scanning Electron Microscope (SEM).

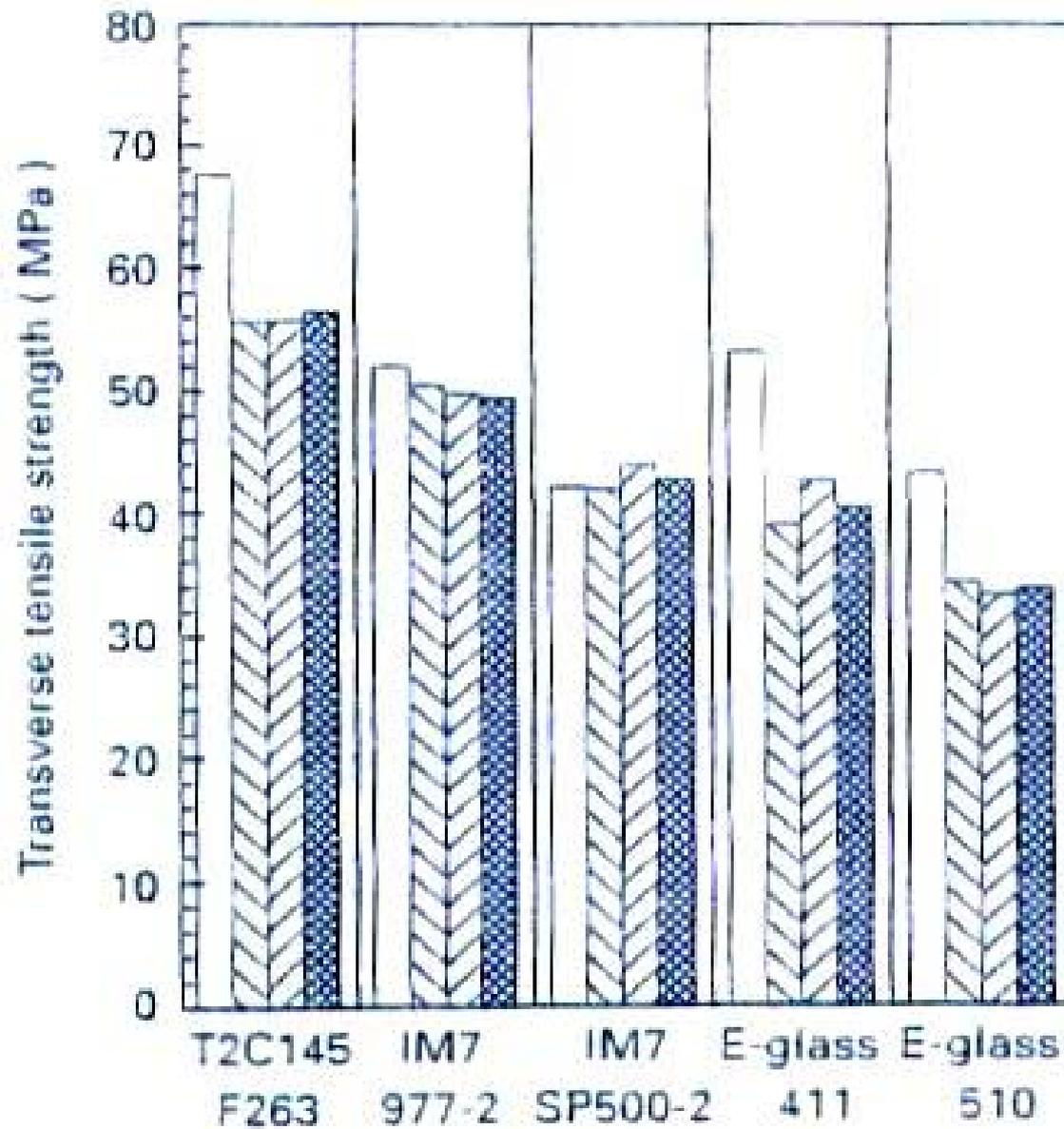


Despues de 5 Meses En Agua Destilada a 60C:
Sección transversal y Longitudinal del
Compuesto

Bradley W. L. and Grant T. S. (1995).

- Se estudiaron 7 materiales compuestos bajo los efectos del agua marina. Dos de ellos fueron con fibras de vidrio como refuerzo. Volumen de fibra entre 55 y 65%.
- Compuestos con resina Vinylester para las fibras de vidrio uno con un retardador al fuego y otro sin el. Todos fueron fabricados en capas unidireccionales.
- Para tres condiciones de estado: Seco, Simulacion en Agua Destilada, Agua de Mar y Agua de Mar bajo presion 20.7 Mpa.







Shan, Ying and Liao, K. (2002).

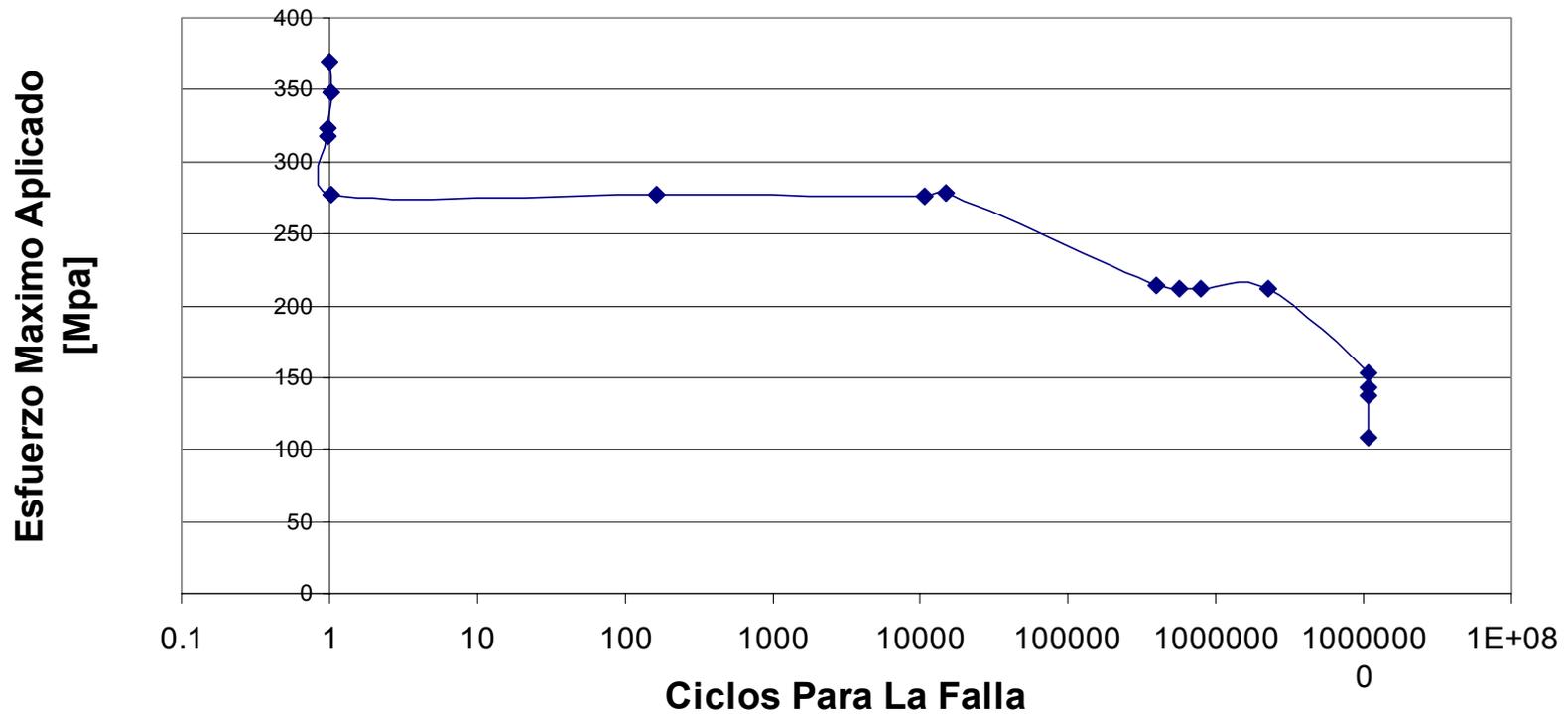
Materiales:

Fibras de vidrio unidireccionales con resina epoxica. Volumen de Fibra 30%.

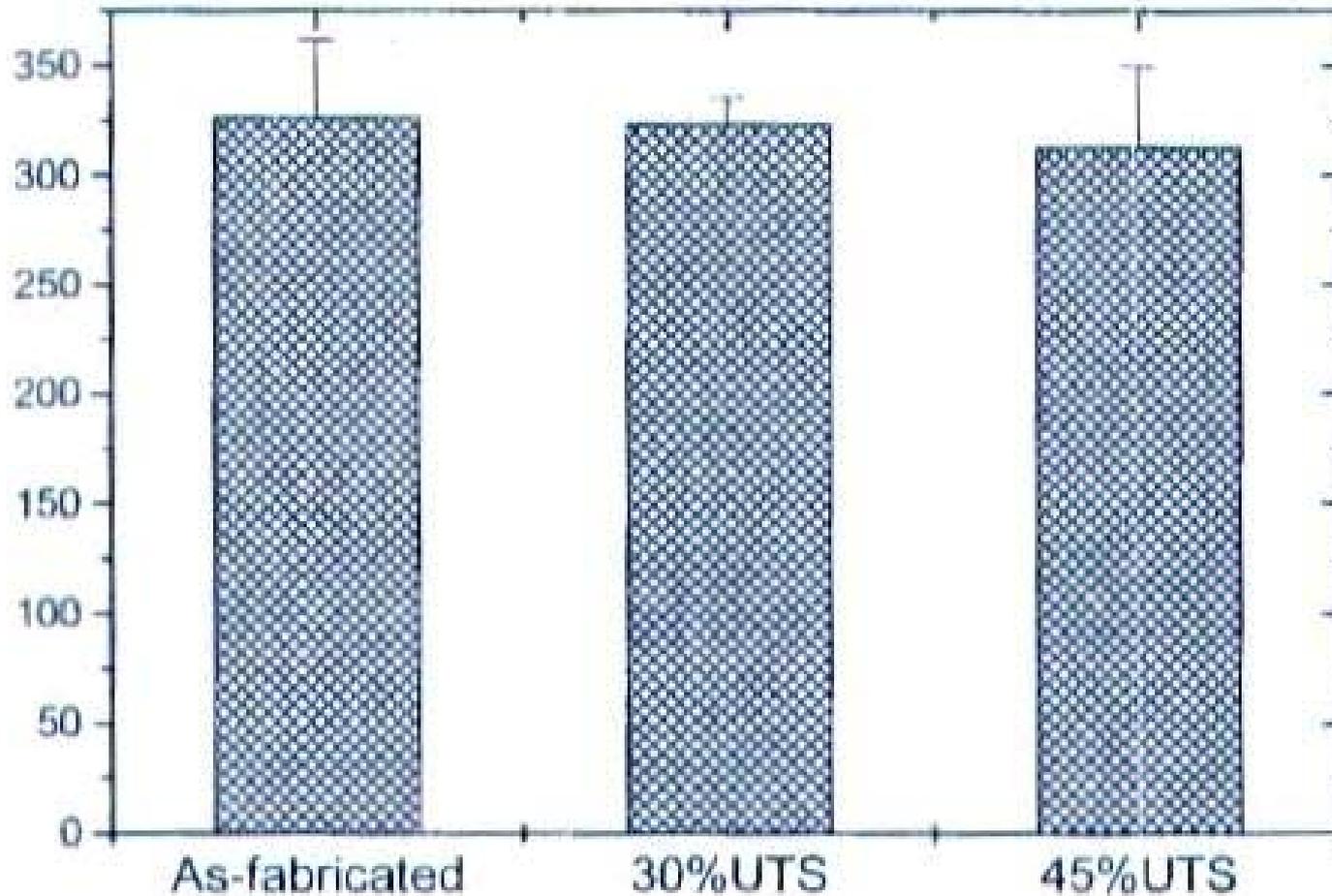
Se sumergieron en agua destilada las muestras mientras se realizaba el ensayo a tensión a 25C, también se realizaron en muestras secas.

Compuesto de Fibra de Vidrio Comportamiento Ante Fatiga

Curvas de Fatiga En Aire



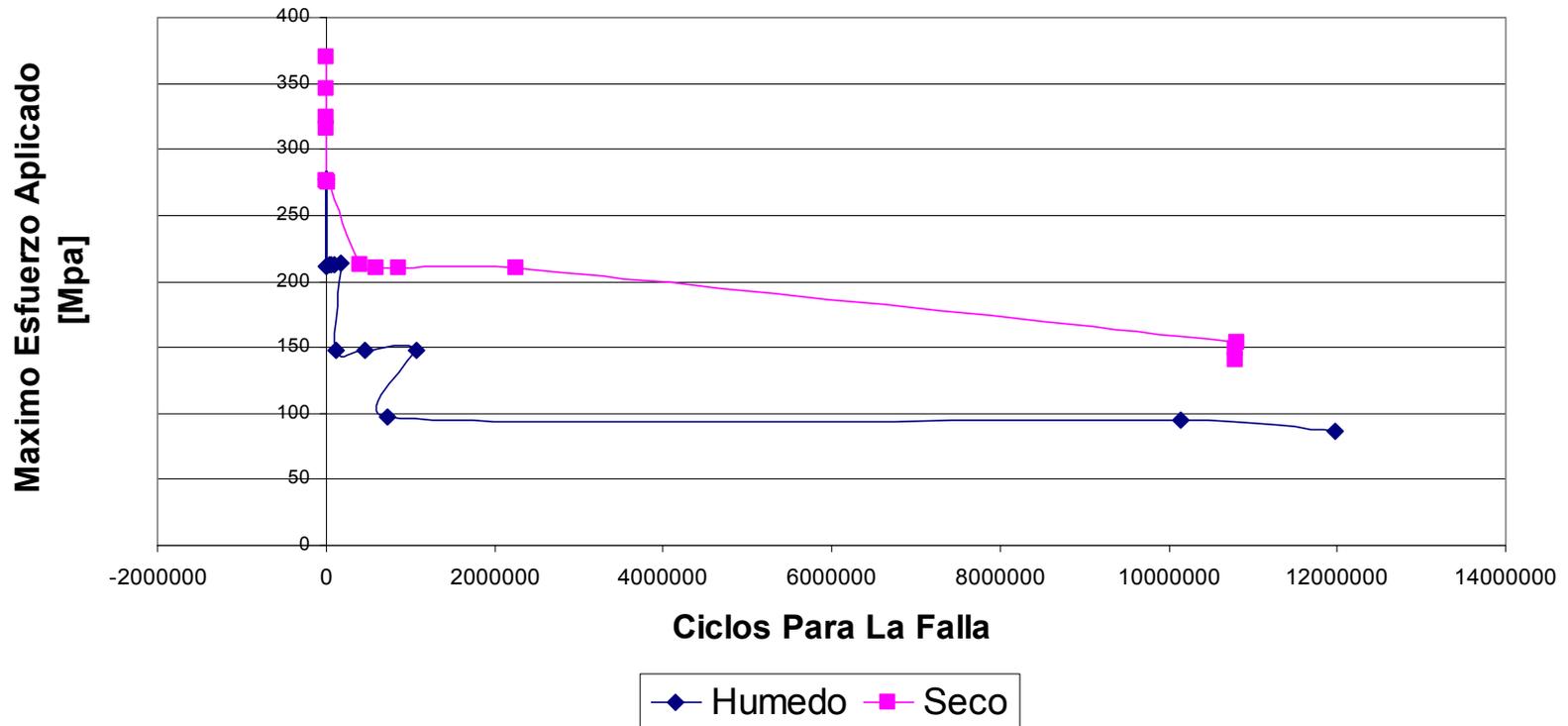
Resistencia Residual Del Compuesto [Mpa] Después de 10E7 Ciclos



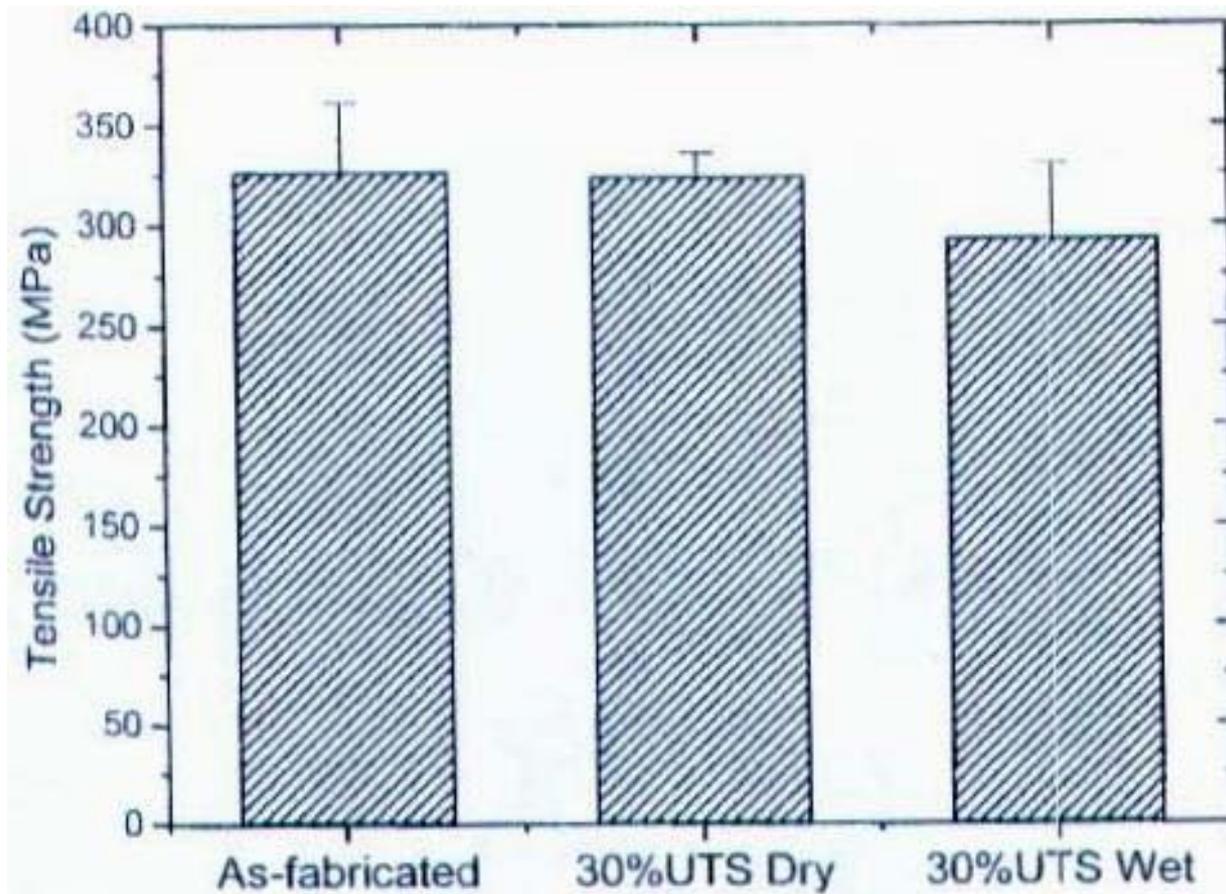
Resistencia Residual
UTS: Ultimate Tensile Strength

Resistencia Residual Del Compuesto [Mpa] Después de 10E7 Ciclos

Fatiga y Fatiga Ambiental S-N Para Compuesto De Fibra De Vidrio



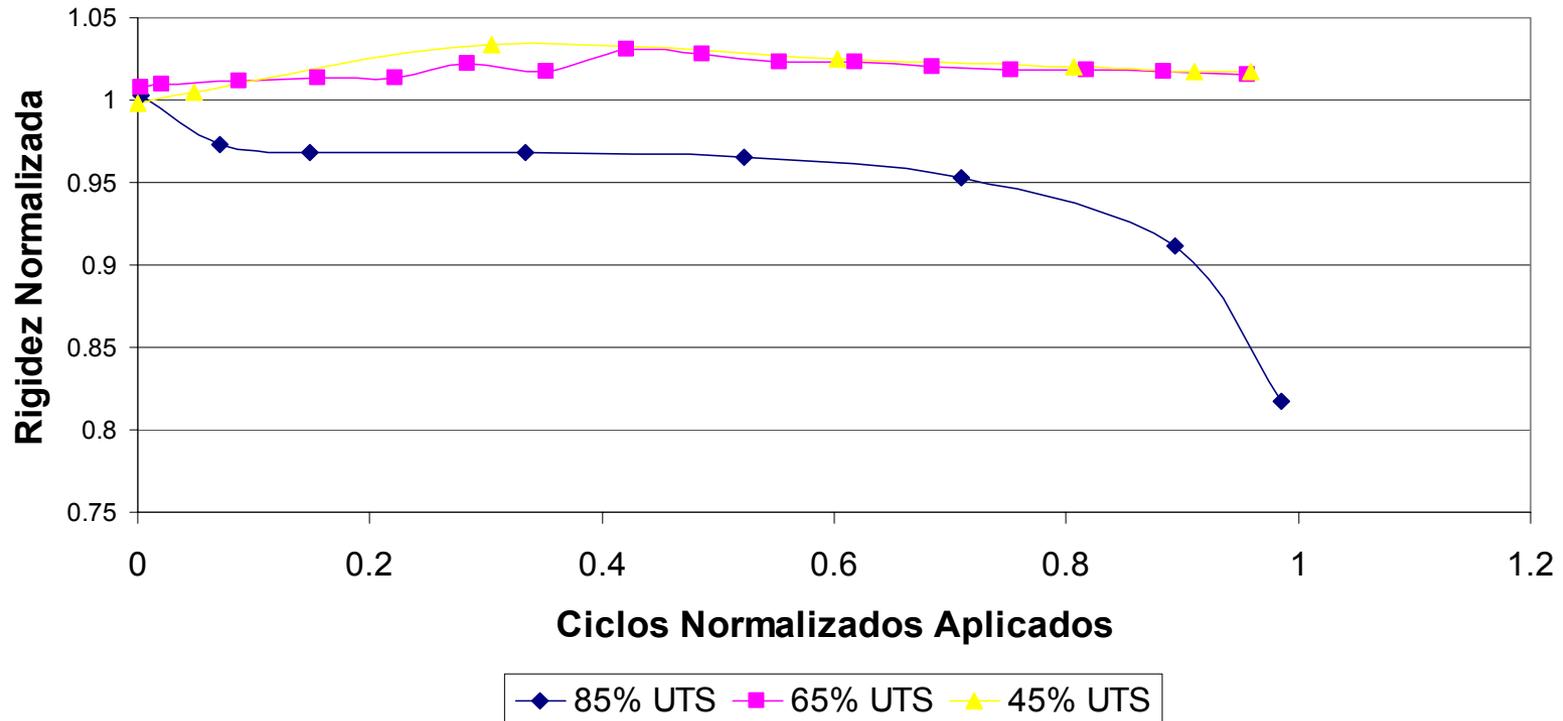
Resistencia Residual Del Compuesto [Mpa] Después de 10E7 Ciclos a 30% de UTS



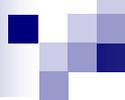
Diferencia En Resistencia Residual
UTS: Ultimate Tensile Strength

Mediciones Parciales De La Rigidez En Las Muestras En Aire

Rigidez Normalizada Durante Fatiga En Aire



Diferencia En Resistencia Residual
UTS: Ultimate Tensile Strength



Virginia Tech's

Actividades en Estructuras de Composites

RESINS

Derakane 411-350 at 690 g/mole.

Derakane xz92485 (Rubber Toughened 411-350)

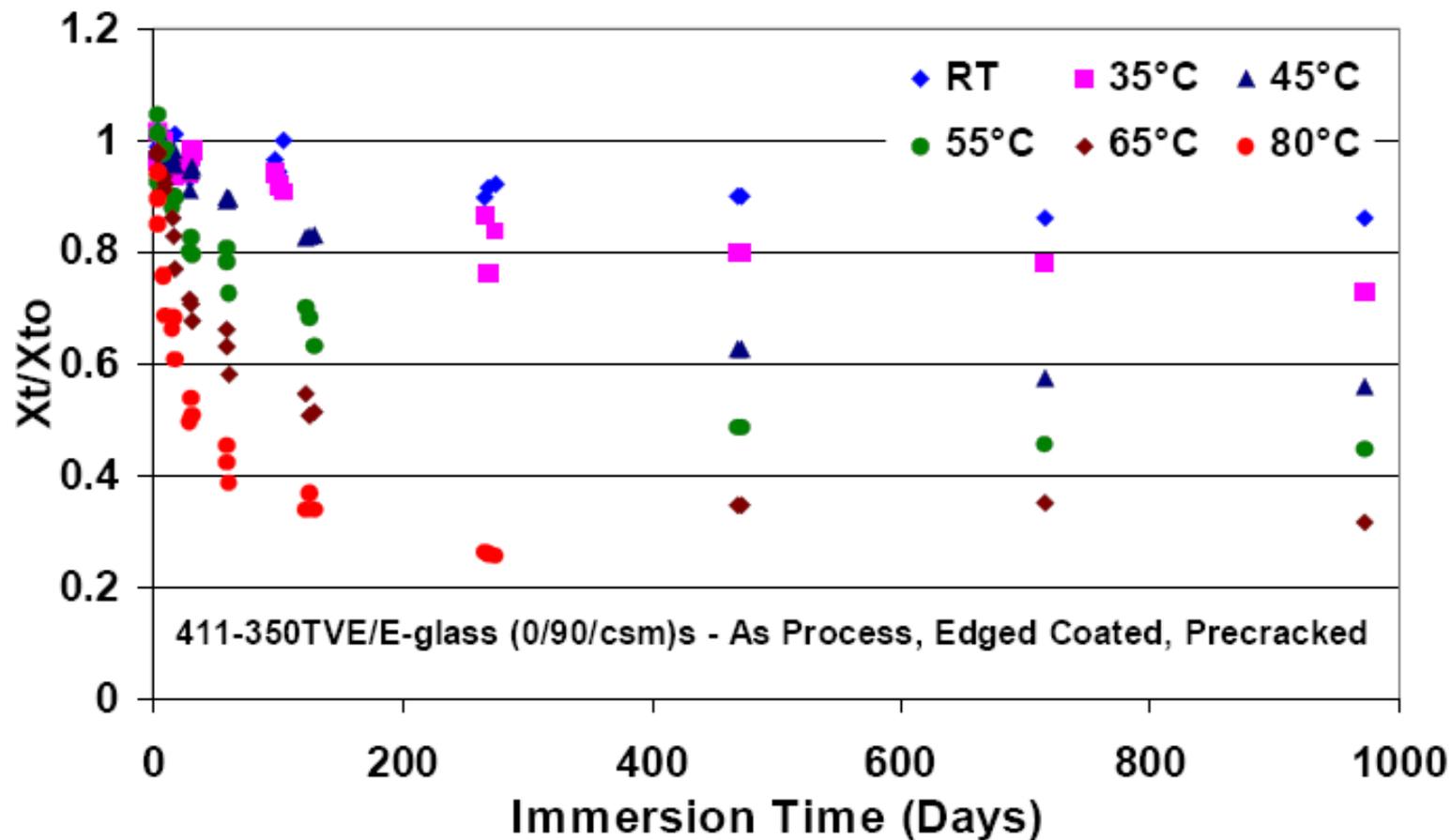
Derakane Epoxy (DER 383)

FIBER PREFORM

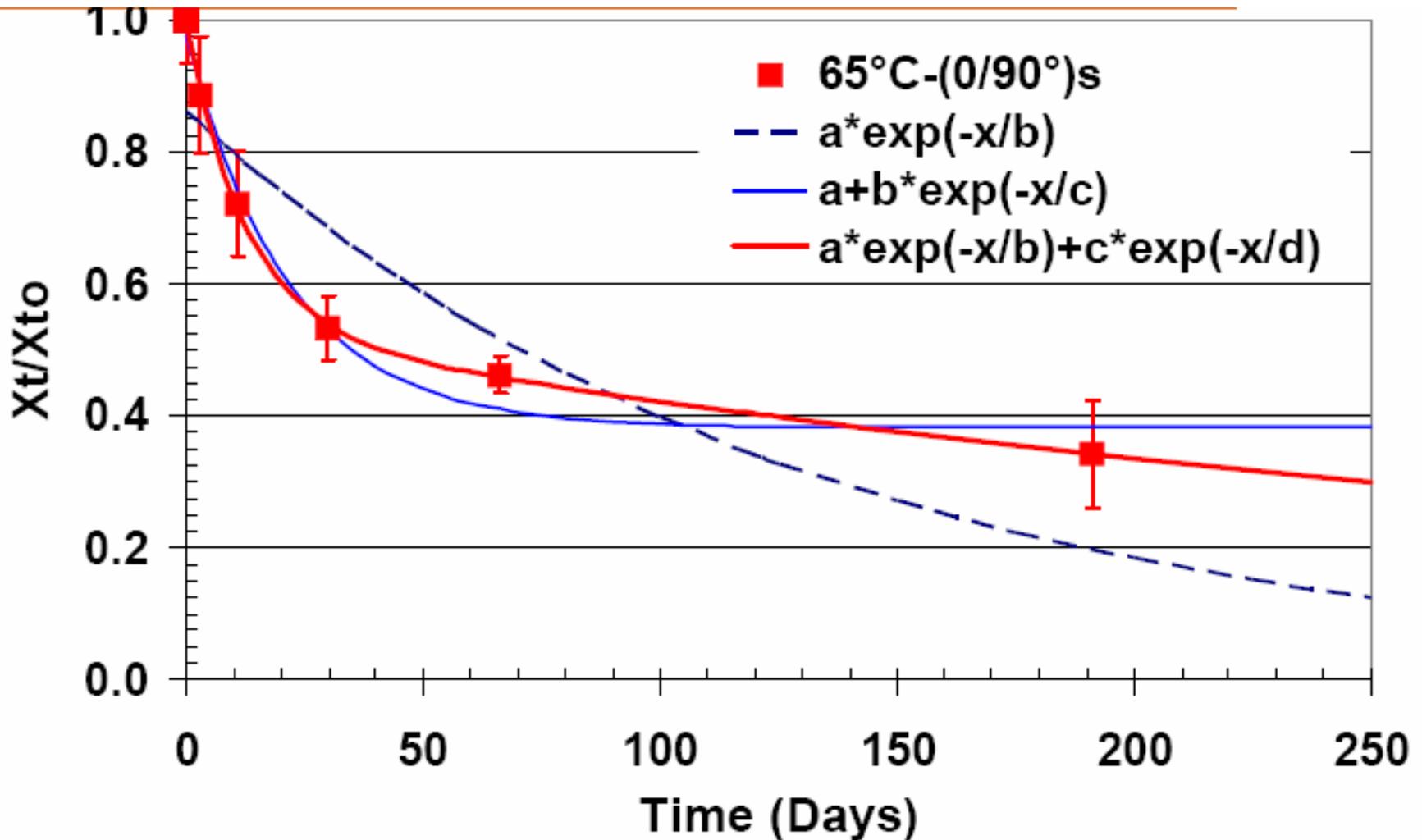
PULTRUDED - Owens Corning E-glass [(Nexus NS veil cloth)1 / (0/90°/ CSM/stitched)1 / (CD 185, 90/0°/stitched)2]s – (0/90/CSM)

MODEL - Owens Corning E-glass Uni-[0°]s Cross-ply-[0°/90°]s & [CSM]s Laminate

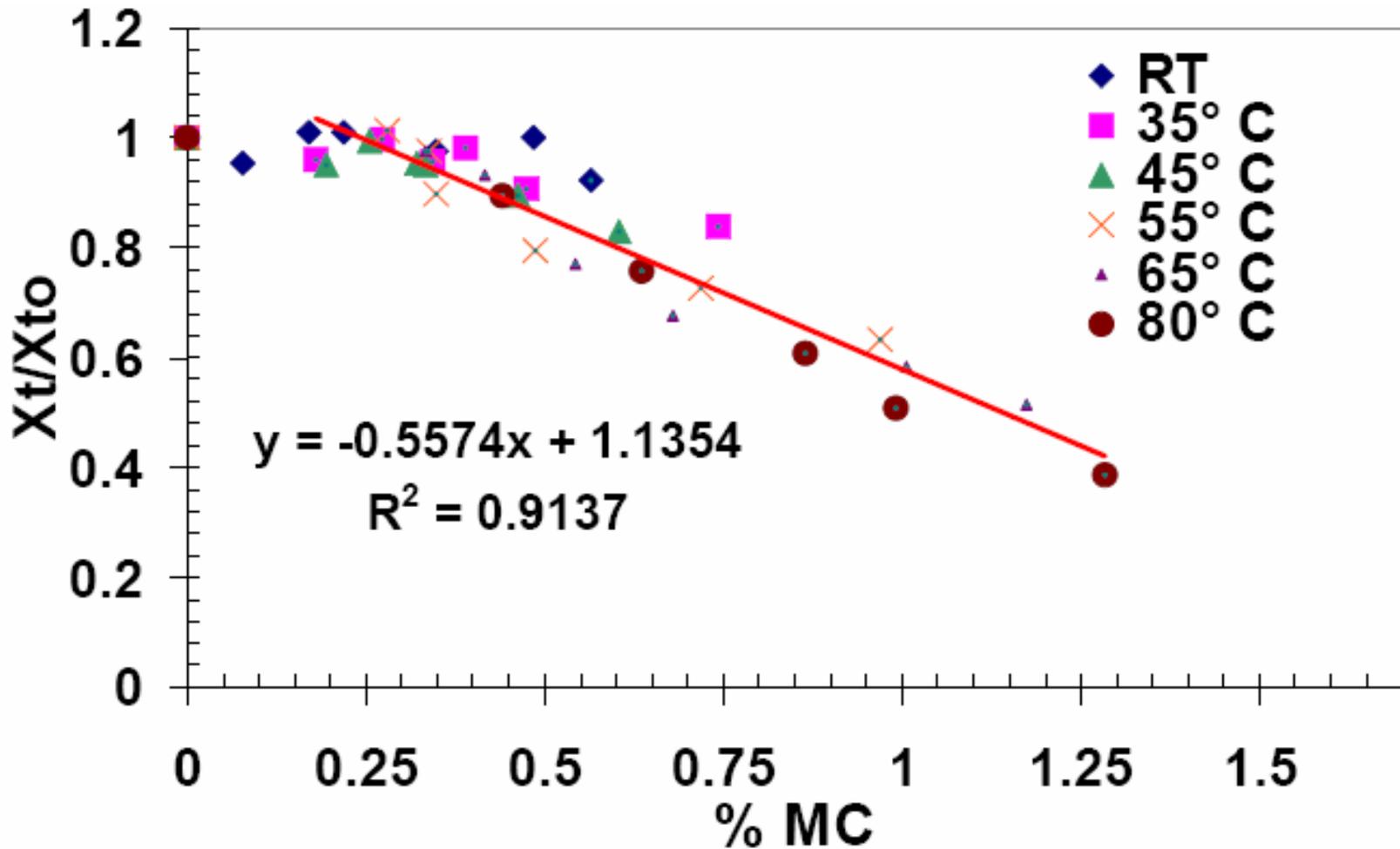
Resistencia a la Tension Residual Vrs. Tiempo



Resistencia a la Tension Contra Humedad (0/90)s VE- E-glass



Resistencia Vrs % de Peso Ganado Pultruded Toughened VE-Eglass Uncracked



Buck, Lisher, Nemat-Nasser (1998) [1 de 7]

“The Durability of E-Glass/Vinyl Ester Composites Materials subjected to Environmental Conditioning and Sustained Loading”

Material:

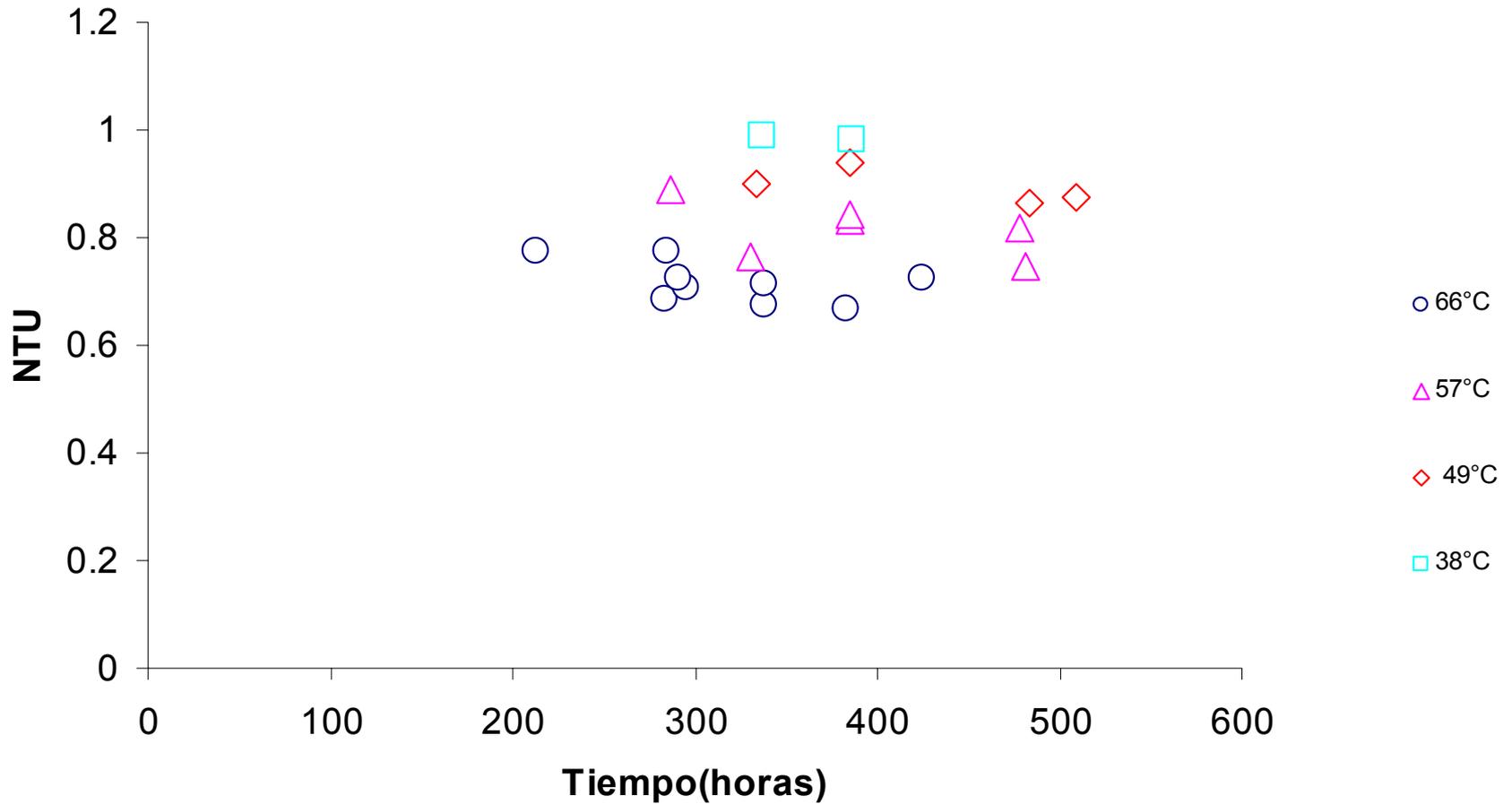
- Thermosetting Polymer, Dow Derakane 411-350 vinyl ester
- Reinforced with E-glass
- [0/90/±45]2s
- $V_f = 48 - 57\%$
- SCRIMP process

Experimentos:

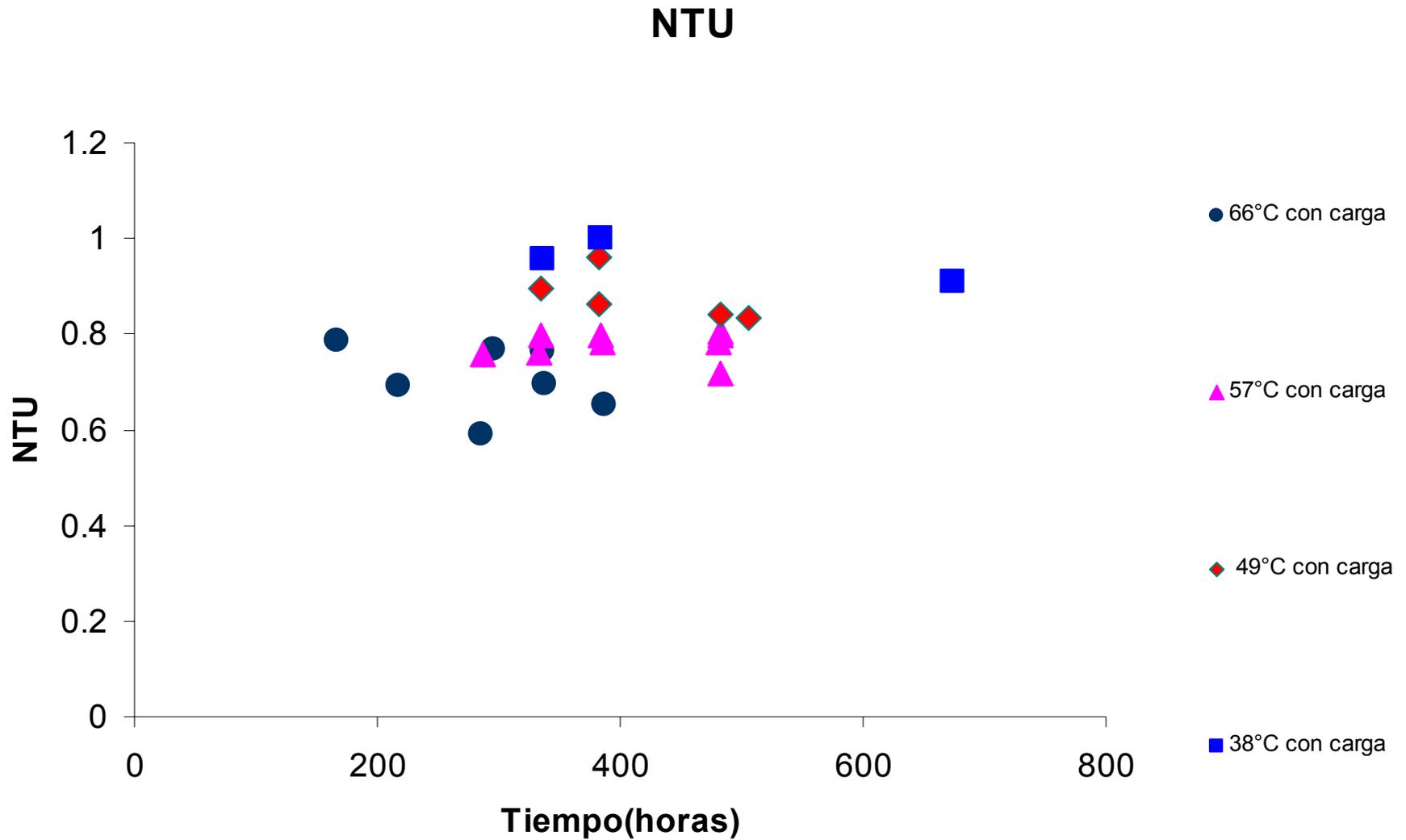
- Ensayos de tensión
- Seguimiento a resistencia última
- Sumergidos en agua (Temperaturas: 38, 49, 57 y 66°C)
- Tiempos 130 horas (5 días) a 600 horas (25 días).

Buck, Lisher, Nemat-Nasser (1998) [2 de 7]

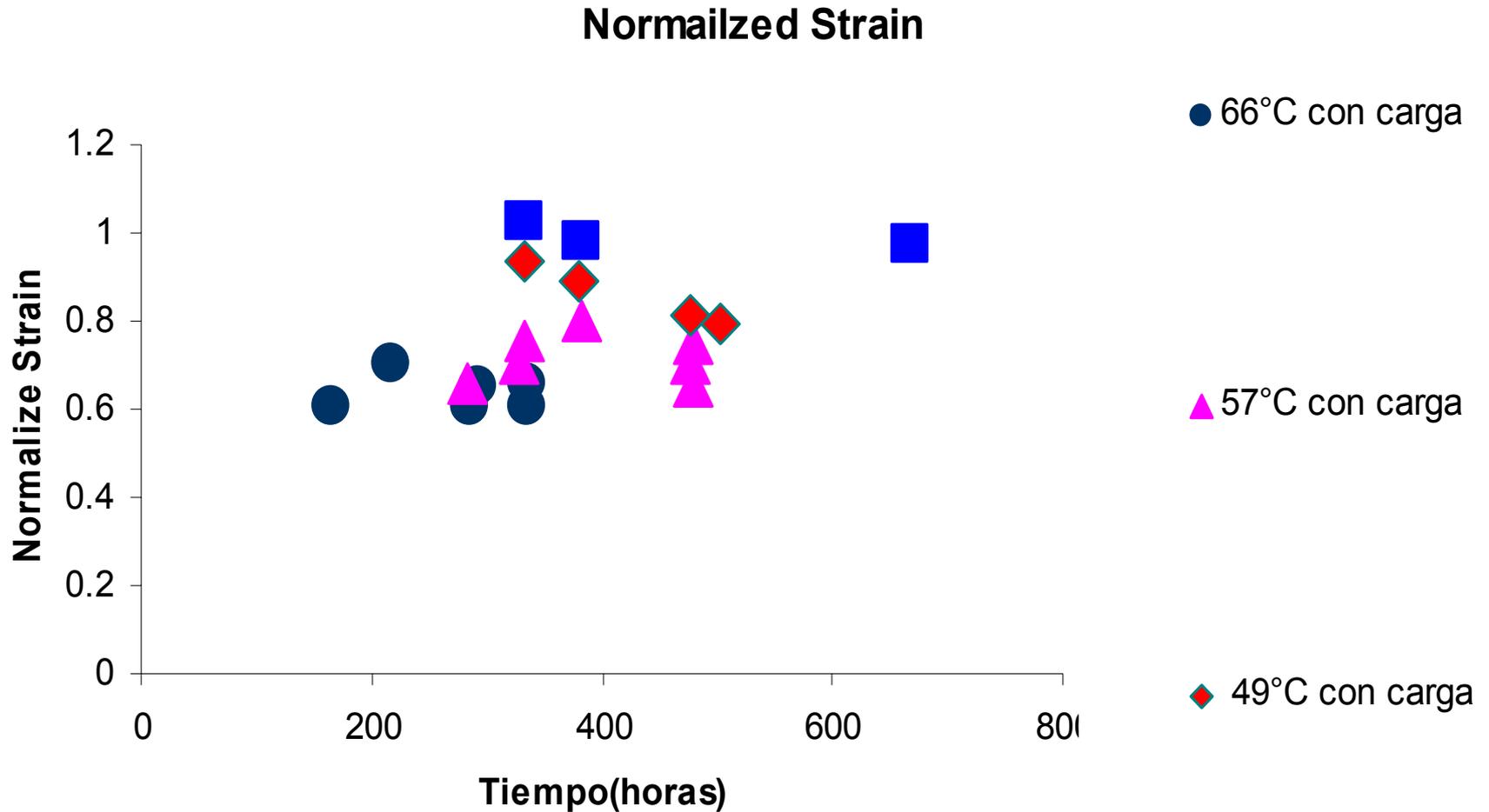
NTU



Buck, Lisher, Nemat-Nasser (1998) [3 de 7]

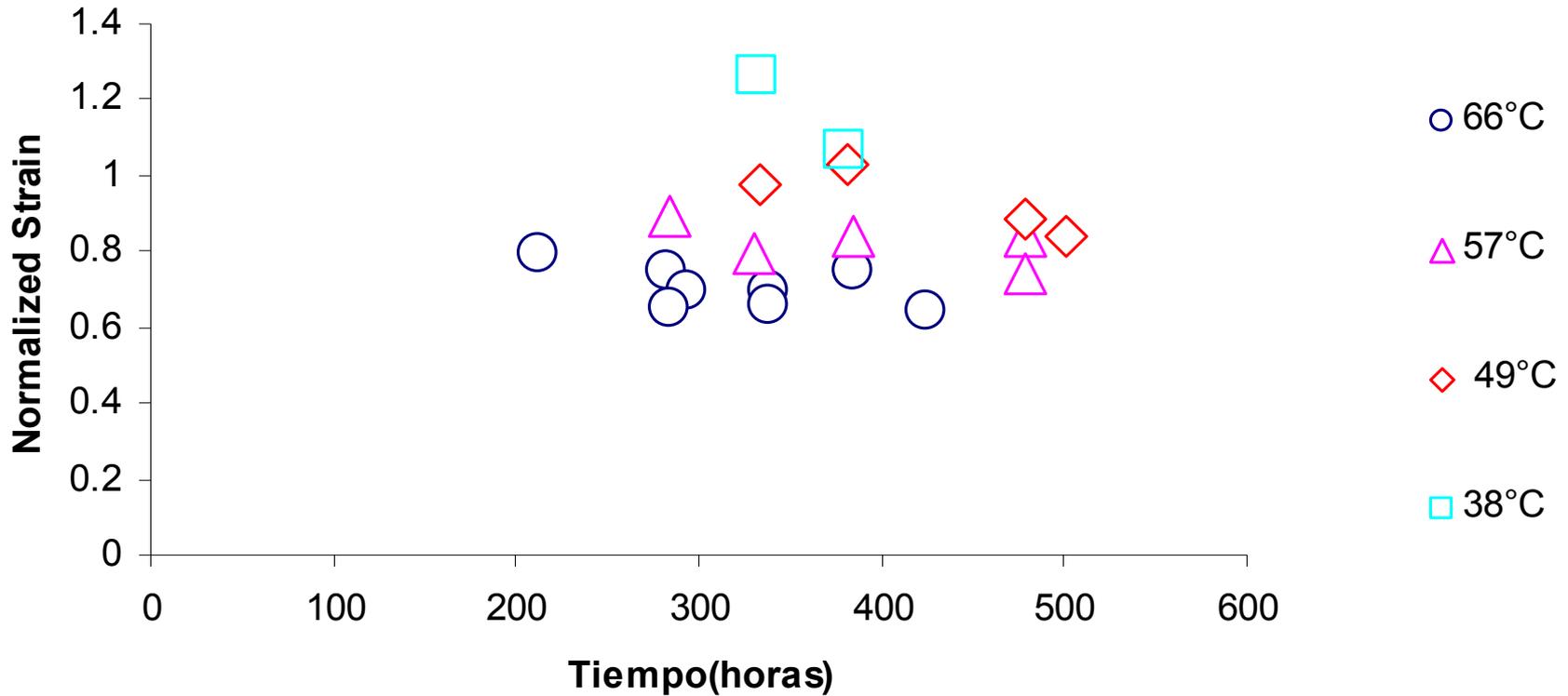


Buck, Lisher, Nemat-Nasser (1998) [4 de 7]



Buck, Lisher, Nemat-Nasser (1998) [5 de 7]

Normalized Strain



Buck, Lisher, Nemat-Nasser (1998) [6 de 7]

Figure 7. Bag side of sample conditioned at 145 MPa in 57°C water for 576 hours.

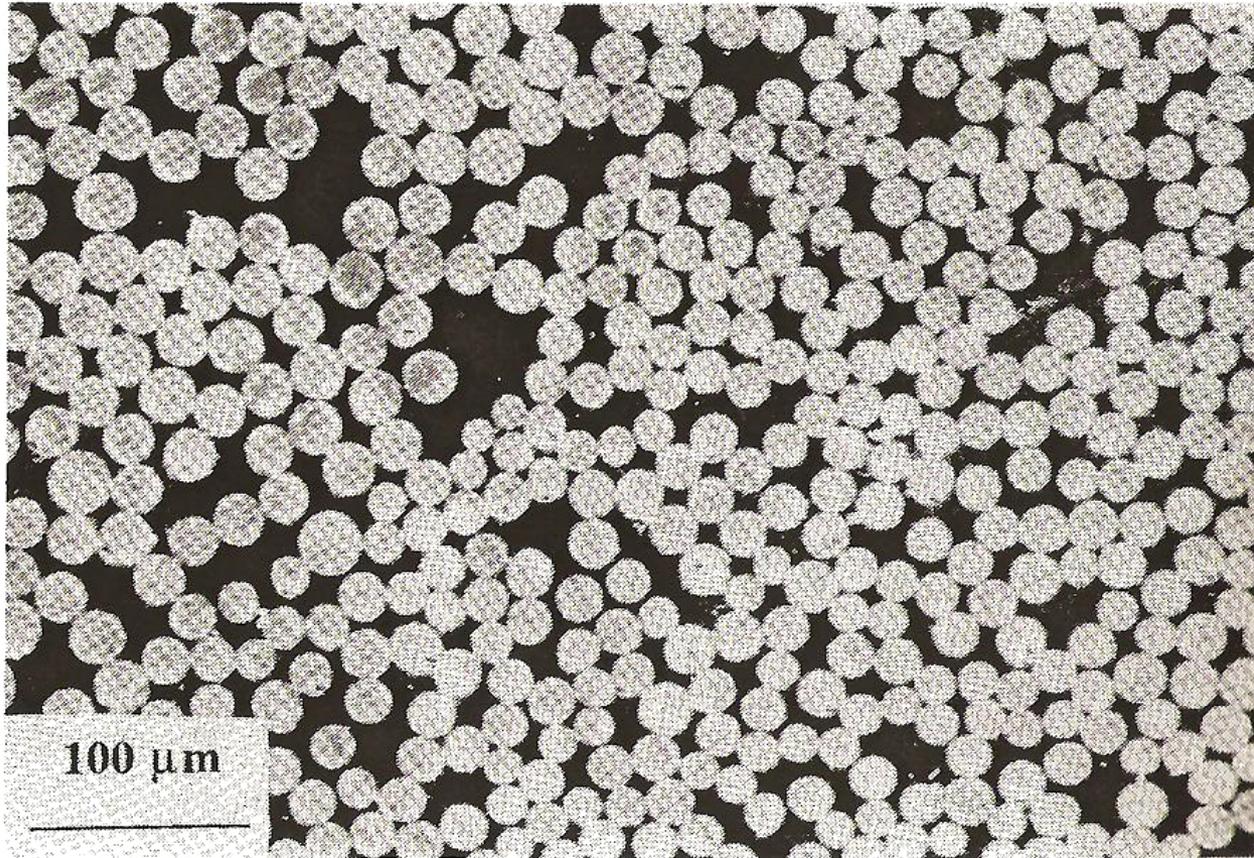


Figure 8. As-received material.

Buck, Lisher, Nemat-Nasser (1998) [7 de 7]

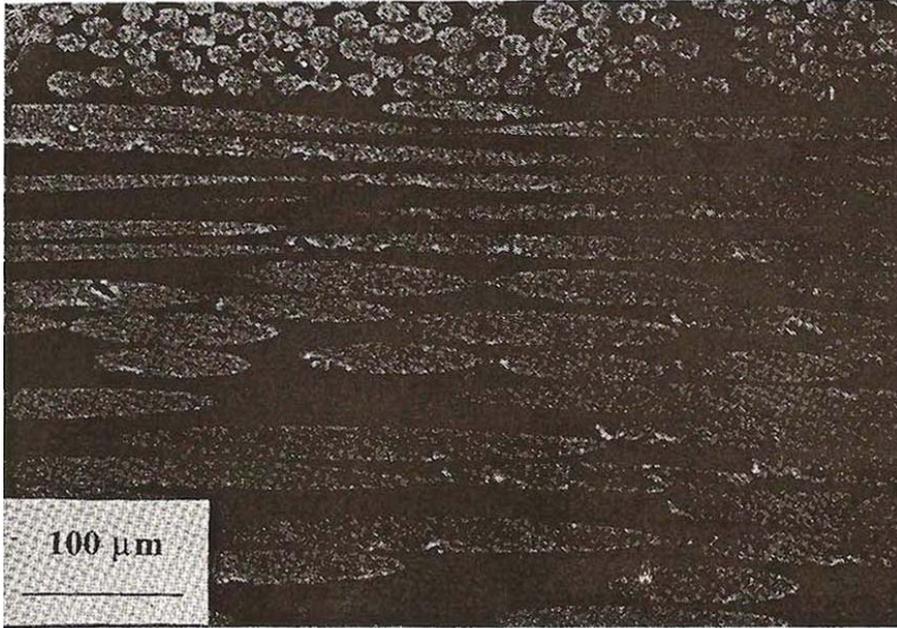


Figure 10a. Material conditioned with no load at 66°C for 286 hours.

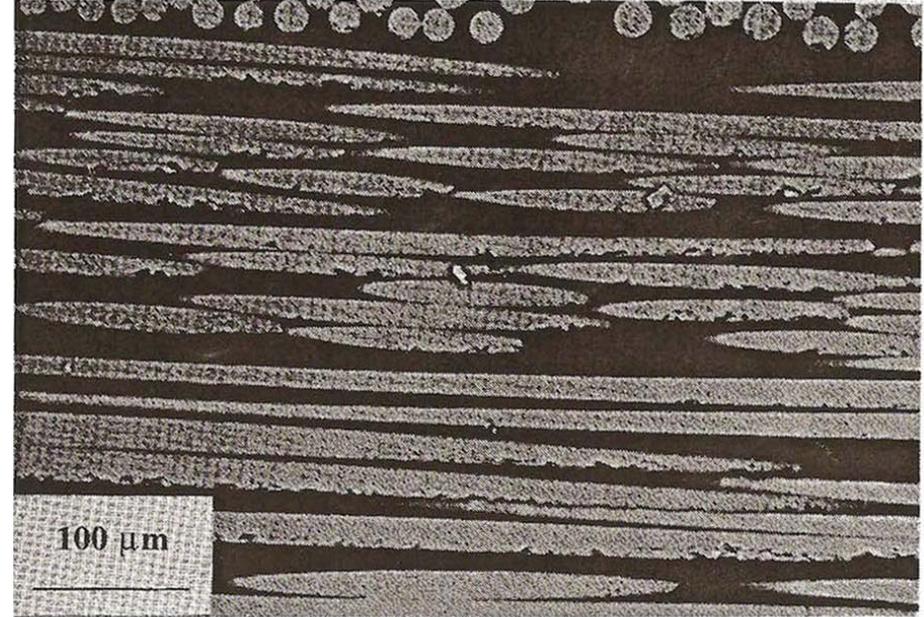


Figure 10b. Material conditioned at 145 MPa at 66°C for 286 hours.

Ray (2006) [1 de 8]

“Effects of Changing Seawater Temperature on Mechanical Properties of GRP Composites”

Material :

-Láminas de E-Glass fibers fabricadas por Hand Lay-Up según ASTM D 2344-84

Dos tipos de resina:

-Epoxy based on Bisphenol-A

-Unsaturated polyester resin.

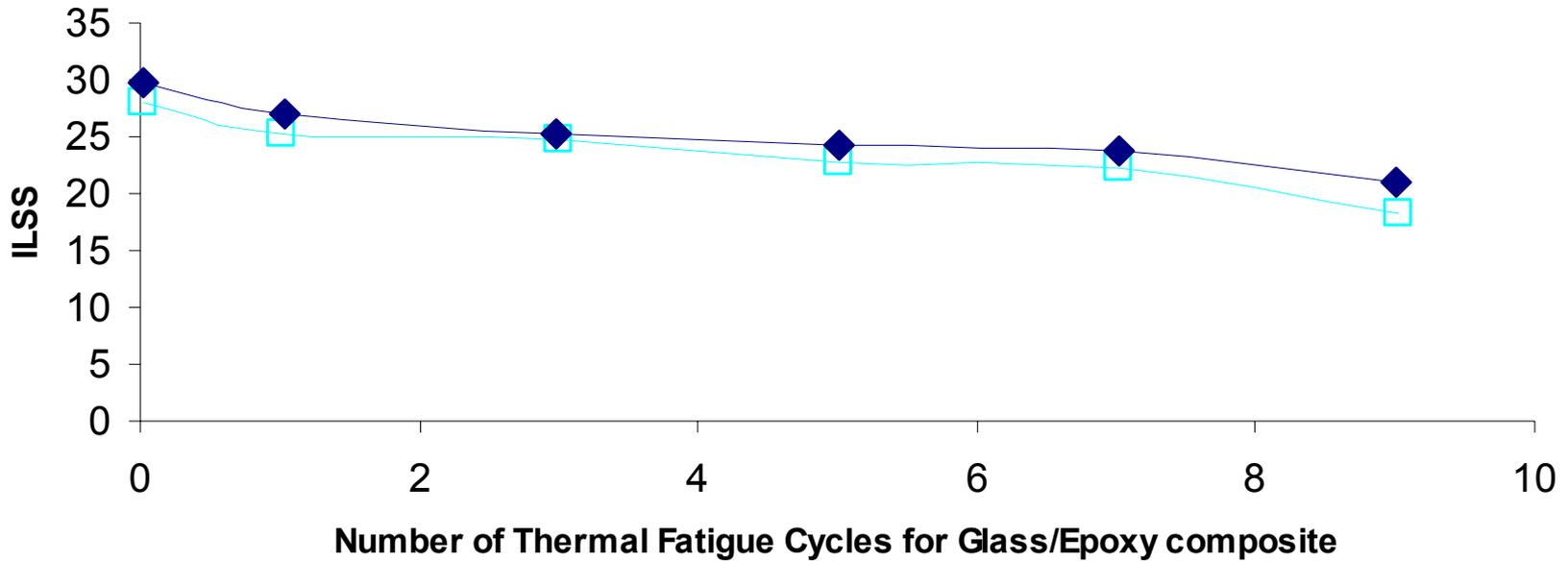
Experimentos:

-Los especimenes fueron sometidos a condiciones ambientales, primero inmersos en agua a 50°C por 30 minutos. Luego en un baño a 100°C por 30 minutos más.

-Las pruebas permitieron medir en tres puntos de flexión para determinar la resistencia interlaminar al cortante (ILSS).

Ray (2006) [2 de 8]

Variation of ILSS of 55%w/w

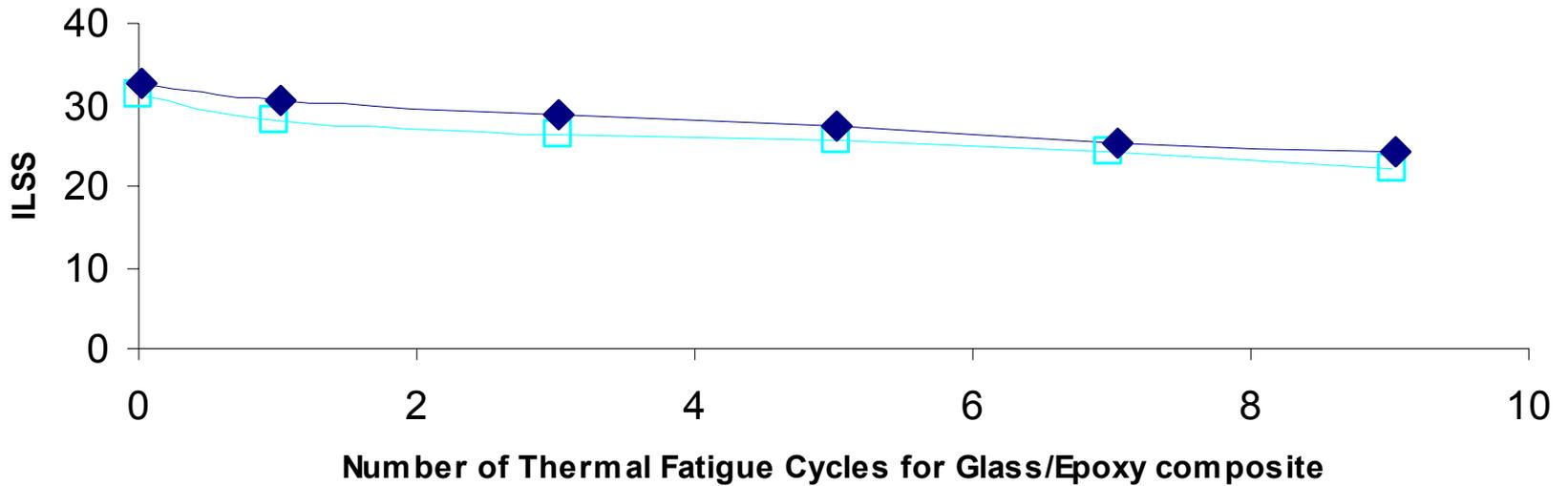


—□— E-Glass de 2 mm/min

—◆— E-Glass de 50 mm/min

Ray (2006) [3 de 8]

Variation of ILSS of 60% w/w

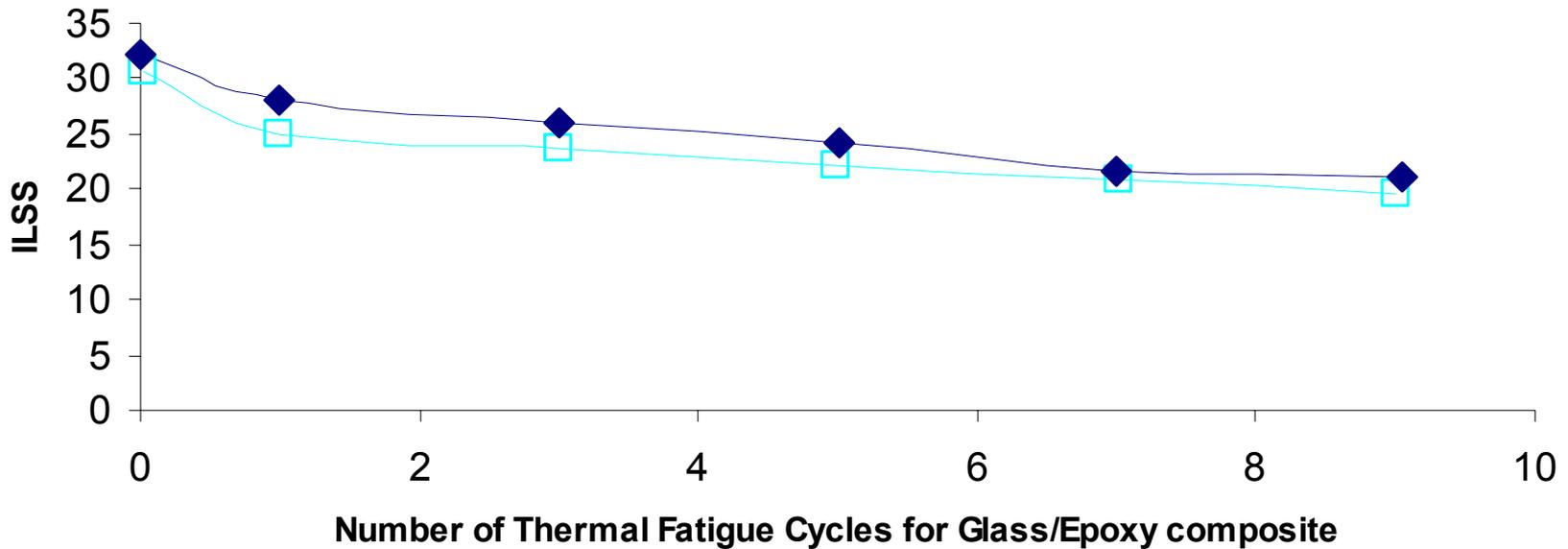


—□— E-Glass de 2 mm/min

—◆— E-Glass de 50 mm/min

Ray (2006) [4 de 8]

Variation of ILSS of 65%w/w

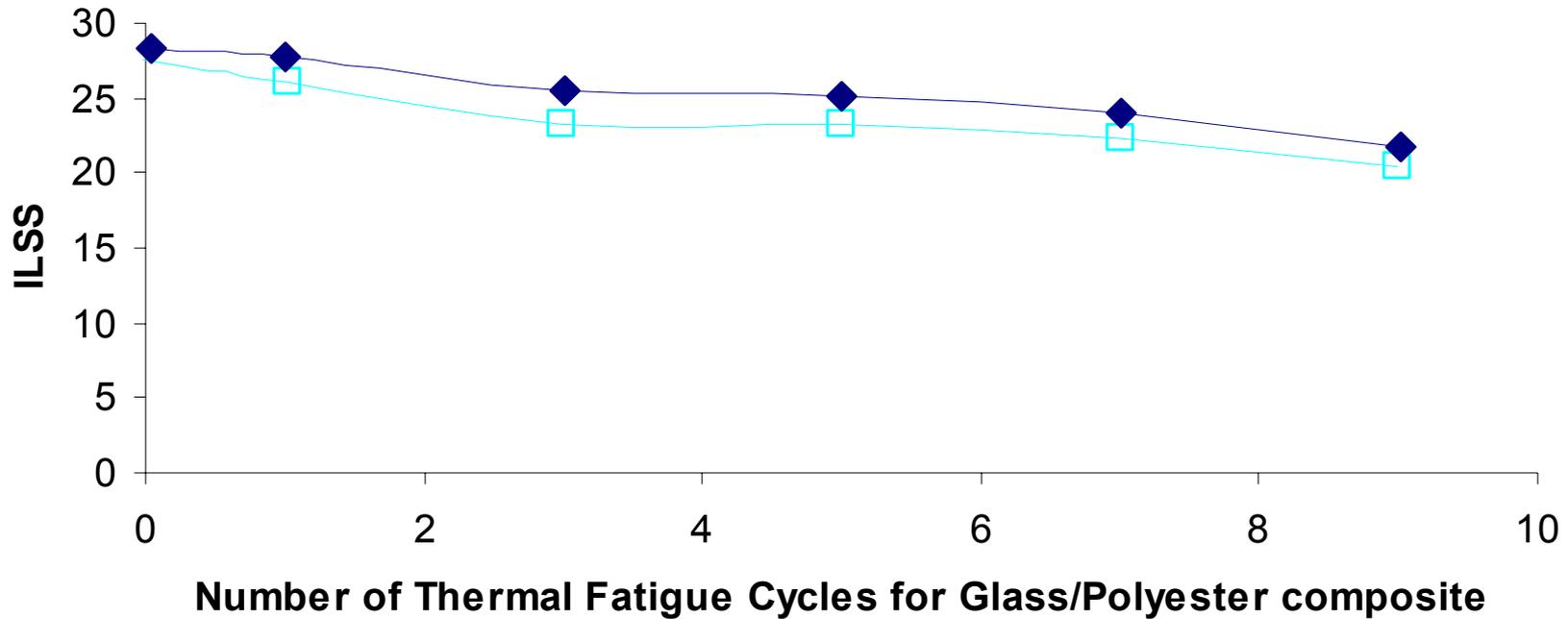


—□— E-Glass de 2 mm/min

—◆— E-Glass de 50 mm/min

Ray (2006) [5 de 8]

Variation of ILSS of 55% w/w

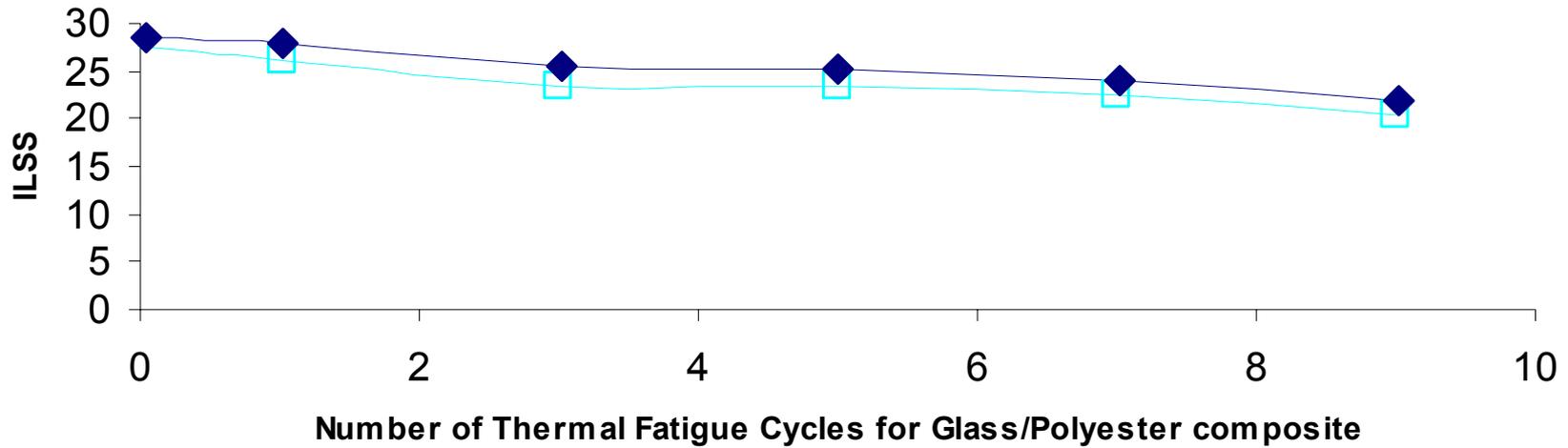


—□— E-Glass de 2 mm/min

—◆— E-Glass de 50 mm/min

Ray (2006) [6 de 8]

Variation of ILSS of 60 %w/w

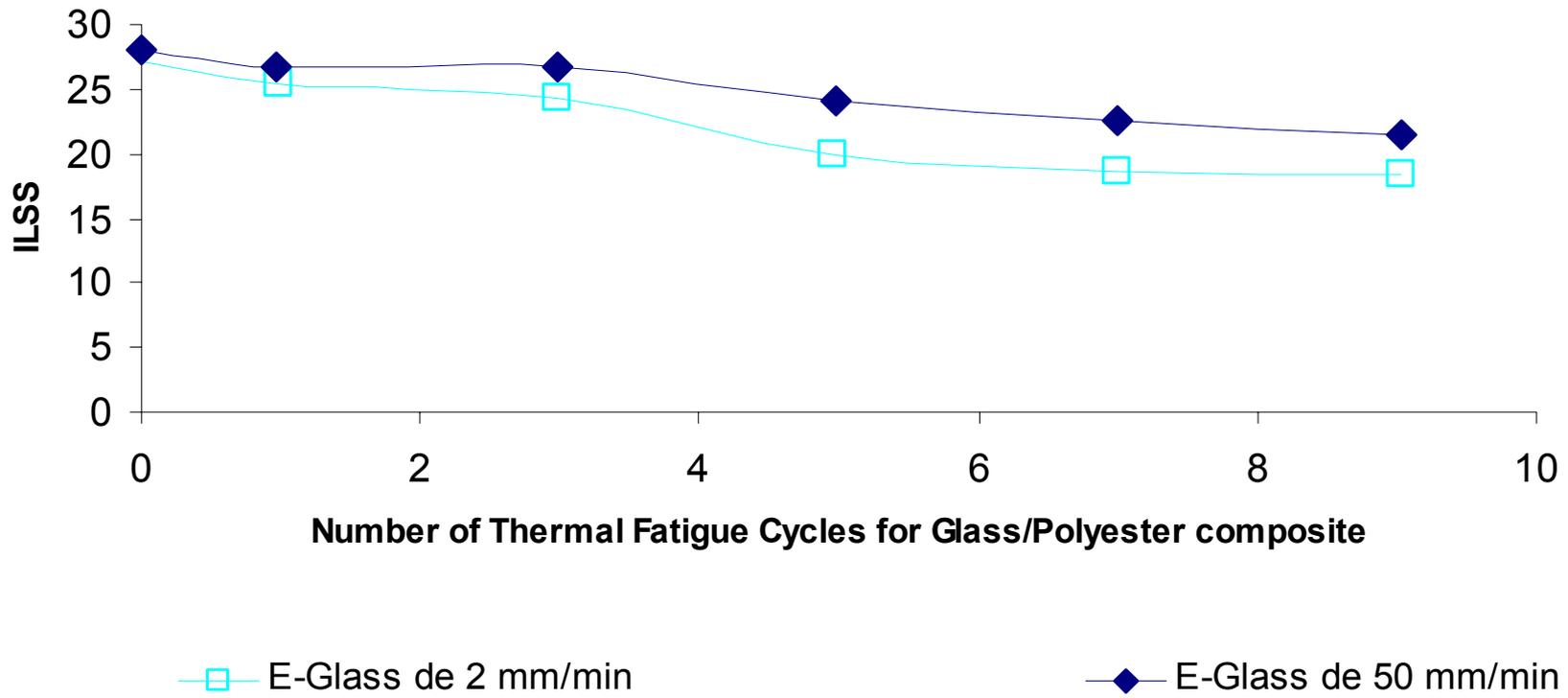


—□— E-Glass de 2 mm/min

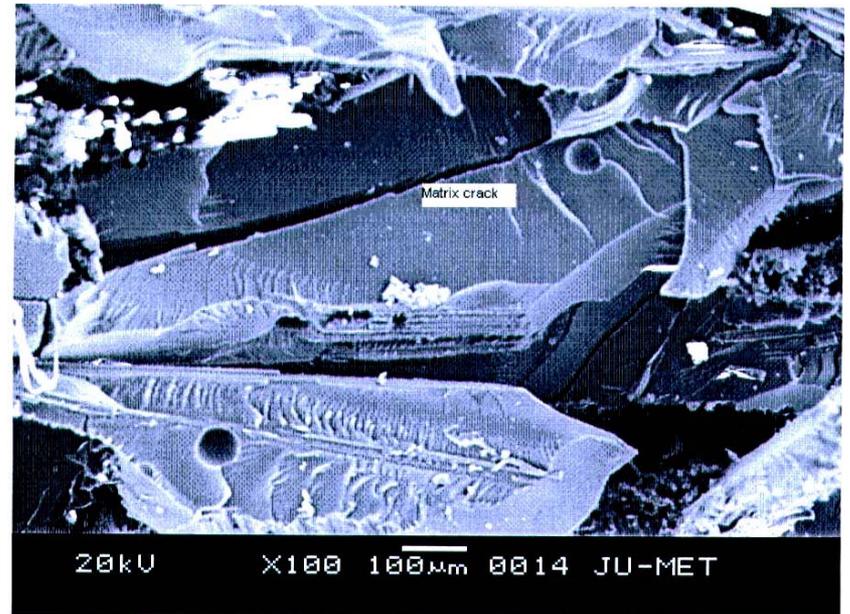
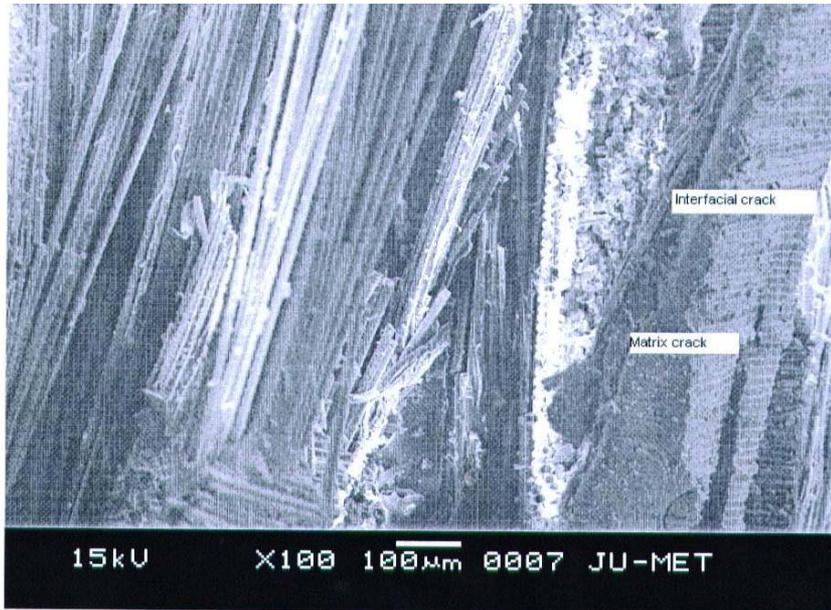
—◆— E-Glass de 50 mm/min

Ray (2006) [7 de 8]

Variation of ILSS of 65 % w/w



Ray (2006) [8 de 8]



Ruptura de la matriz y la interfase.

Liao, Schultheisz, Hunston (1999) [1 de 5]

“Effects of Environmental Aging on the Properties of Pultruded GFRP”

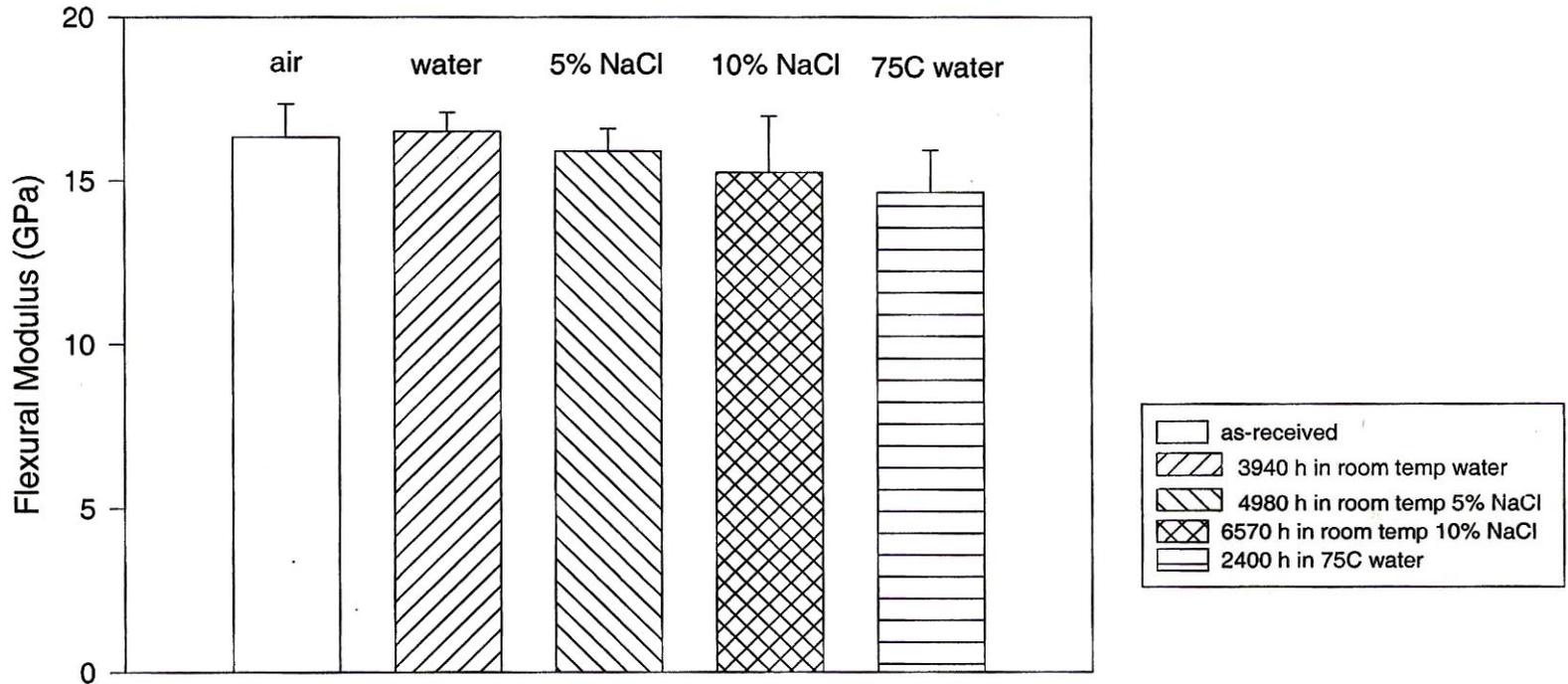
Material:

- E-glass fibra reforzada con vinil ester, fabricado por pultrusión.
- Fibras unidireccionales a 0° y 90 ° alternadas de roving y chopped strand mat.
- $V_f = 0.34$

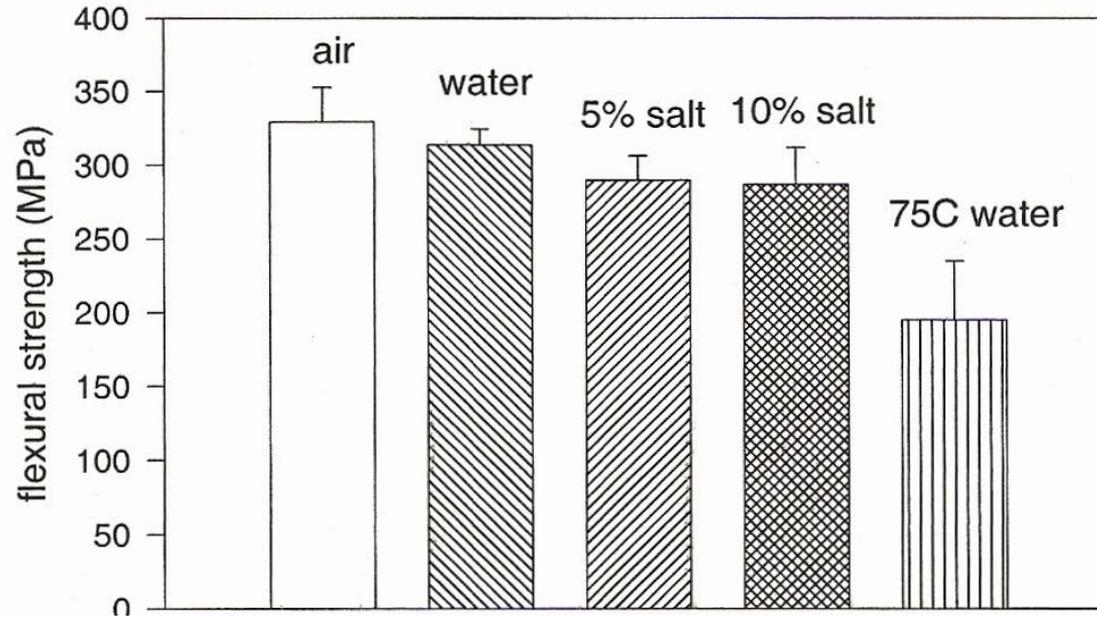
Experimentos:

- Sumergidos en dos soluciones de sal: a 5% de NaCl, y a 10% de NaCl y agua de-ionizada.
- Ensayos de tensión
- Tiempo de 7,940 horas (331 días) a RT, y a 1,360 (57 días) a 75°C.

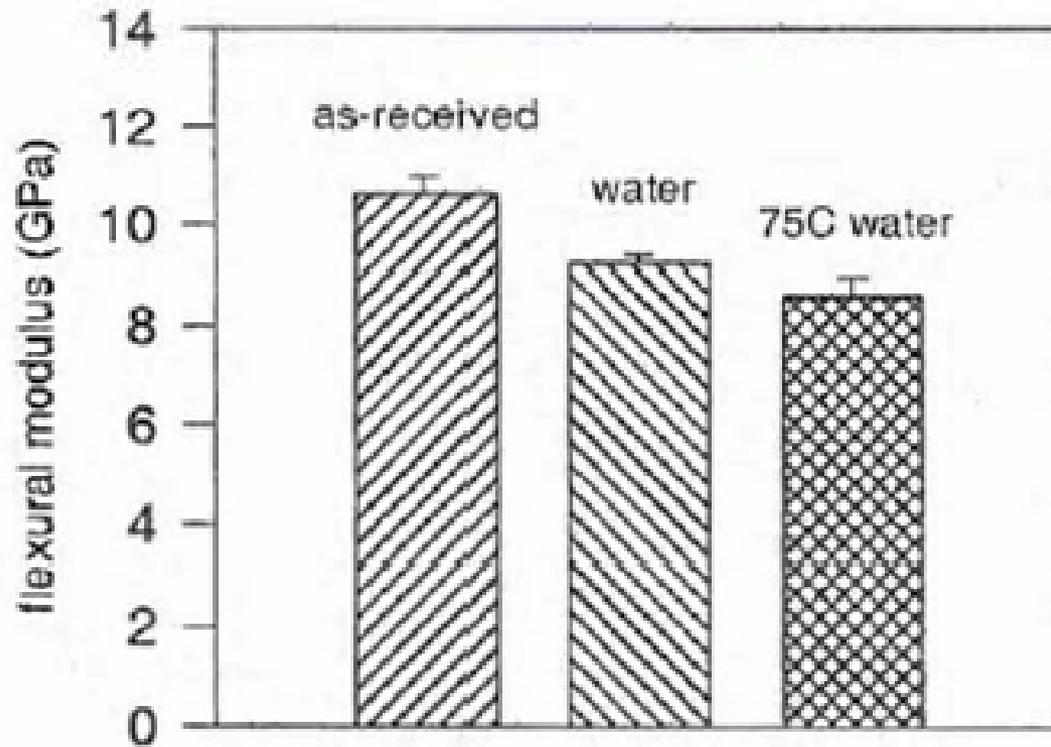
Liao, Schultheisz, Hunston (1999) [2 de 5]



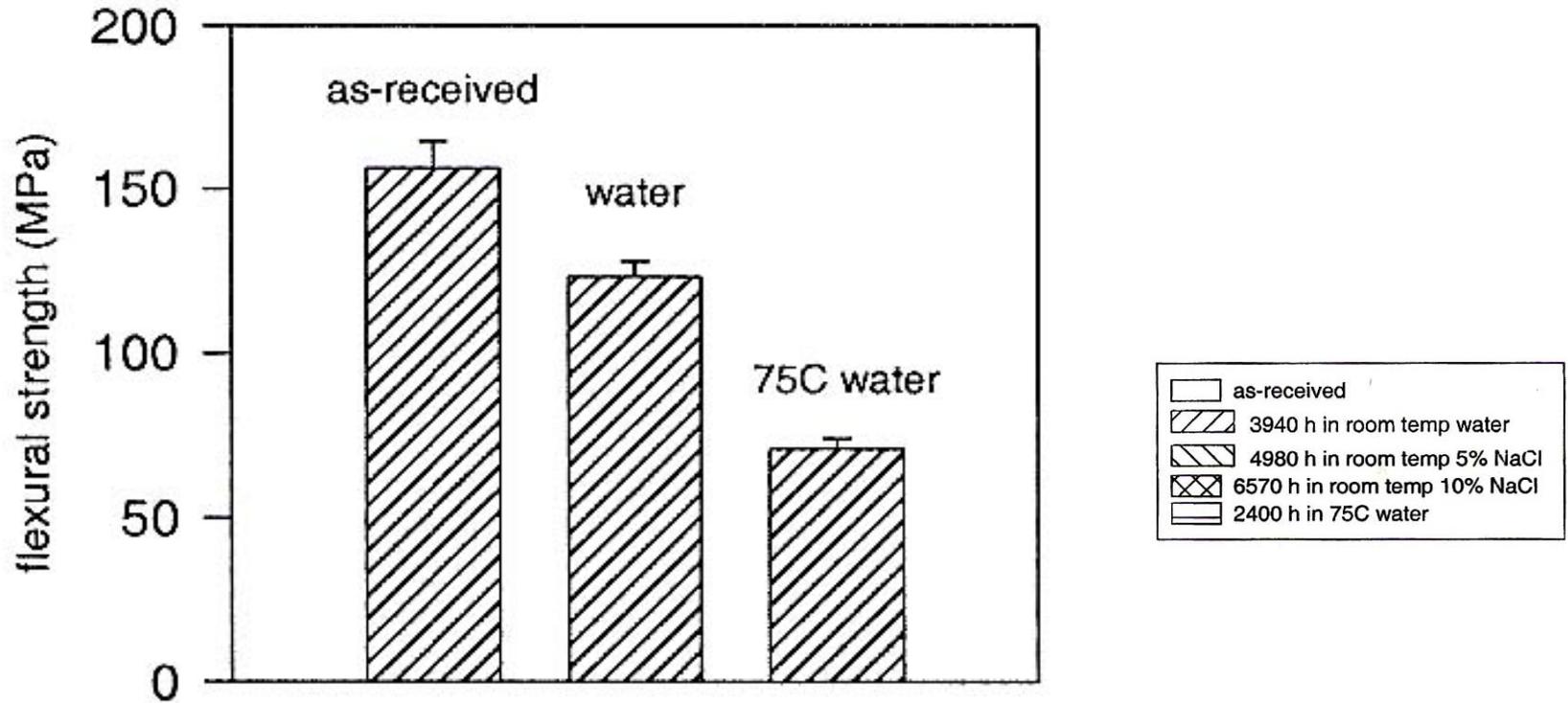
Liao, Schultheisz, Hunston (1999) [3 de 5]



Liao, Schultheisz, Hunston (1999) [4 de 5]



Liao, Schultheisz, Hunston (1999) [5 de 5]



Para especimenes laminados a 90

Chateauinois, Chabert, Soulier, Vincent (1993) [1 de 4]

“Hygrothermal Ageing Effects on The Static Fatigue of Glass/Epoxy Composites”

Material:

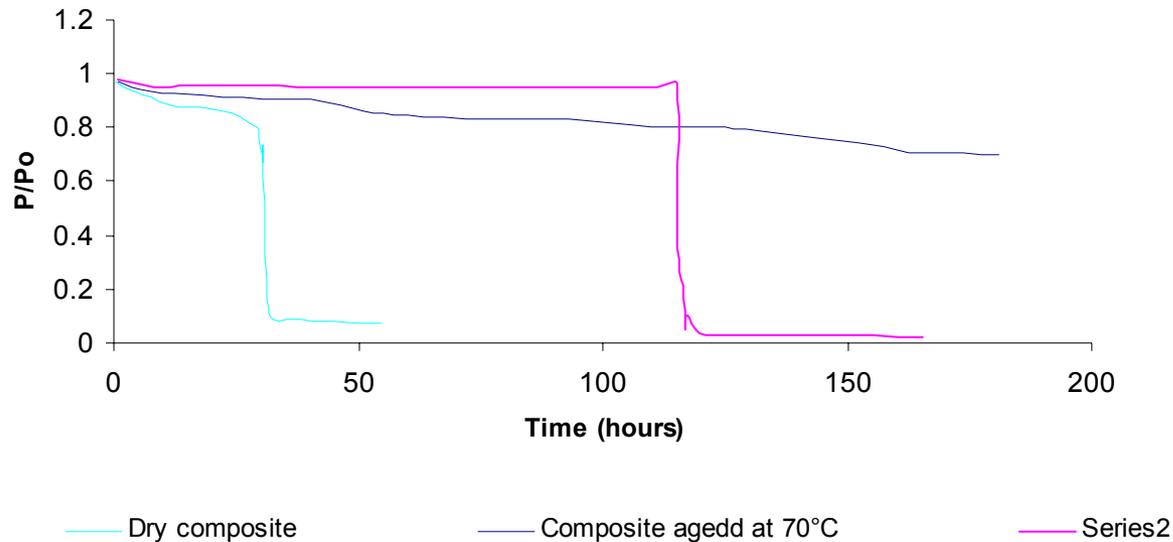
- E-Glass/epoxy unidireccional.
- Filament Winding, las pruebas realizadas fueron de fatiga en diferentes medidas de deformación.
- $V_f = 48\%$ y el contenido de vacíos fue menor a 1%.

Experimentos:

- Ensayos de fatiga utilizando el Three-point bending test.
- Sumergido en agua destilada a 30,50,70 y 90°C por 100 días.

Chateauminois, Chabert, Soulier, Vincent (1993) [2 de 2]

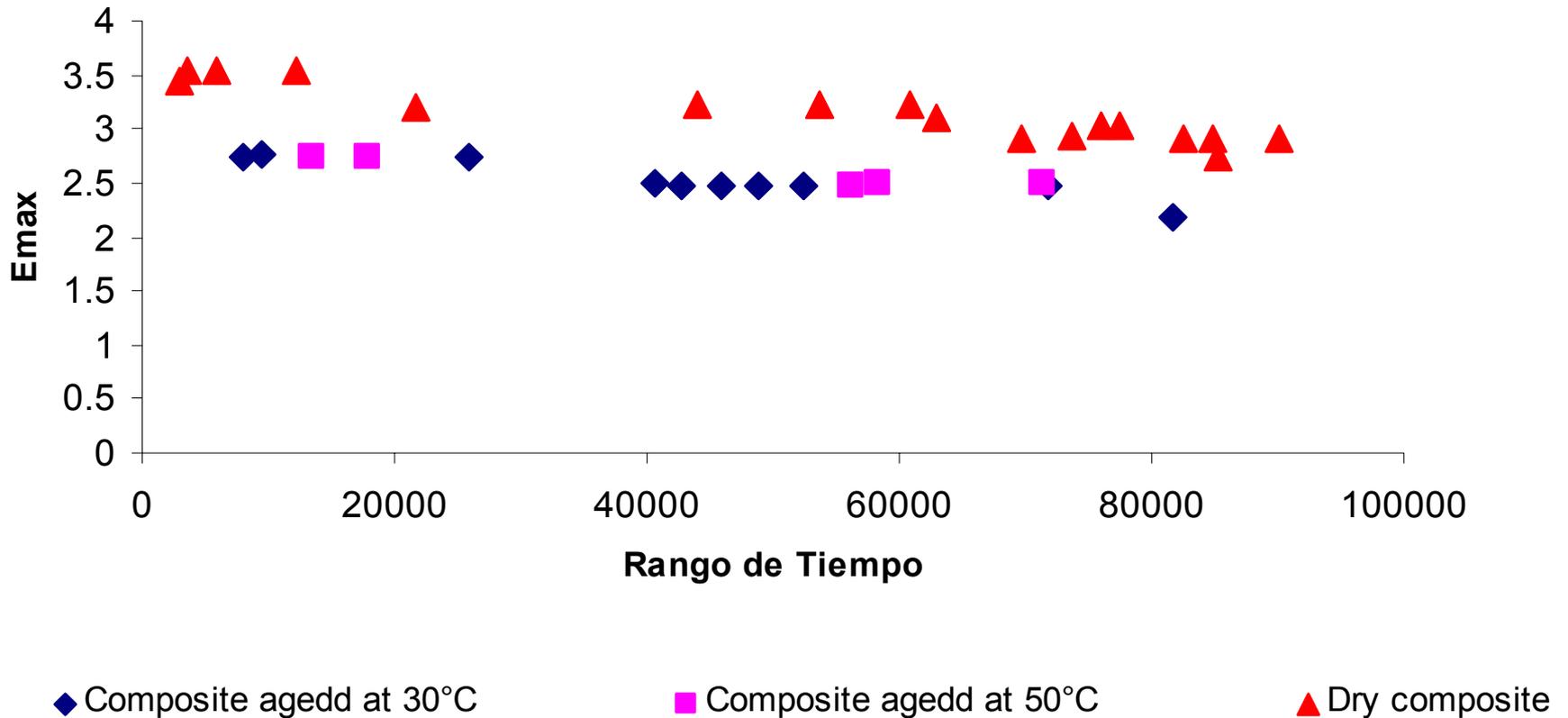
Typical Stiffness loss curves in Static Fatigue



- a) Compuesto seco, con deformación máxima de 3%.
- b) Compuesto envejecido a 70°C, con deformación máxima de 2.75%.
- c) Compuesto secado luego de envejecido.

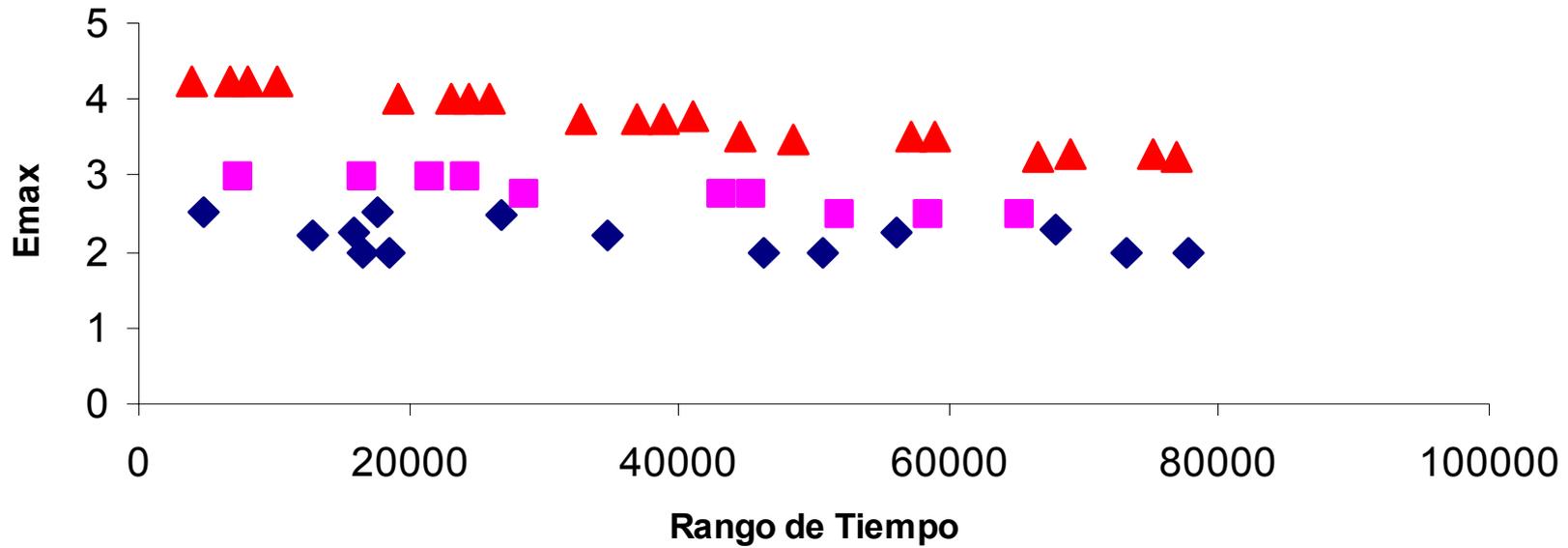
Chateauminois, Chabert, Soulier, Vincent (1993) [2 de 2]

S/T diagram in compressive mode



Chateauminois, Chabert, Soulier, Vincent (1993) [2 de 2]

S/T diagram in Tensile mode



◆ "Composite aged at 90 grados "

■ Composite aged at 70 grados

▲ Dry composite

Zhang, Karbhari (1993) [1 de 9]

“Evaluation of Property Retention in E-glass/Vinylester composites after exposure to salt solution and natural Weathering”

Table 1. Details of laminates and resin panels.

Designation	Fabric Type	Laminate Configuration	Fiber Volume Fraction (%)	Thickness (mm)
4W	Woven roving	4 layers	32	2.63
4C3W	Woven roving + chopped strand mat	3 layers of woven roving sandwiched between alternating layers of chopped strand mat	28	4.06
R	—	Neat resin plaque	—	3.98

Zhang, Karbhari (1993) [2 de 9]

-Experimentos:

-Ensayos de tensión.

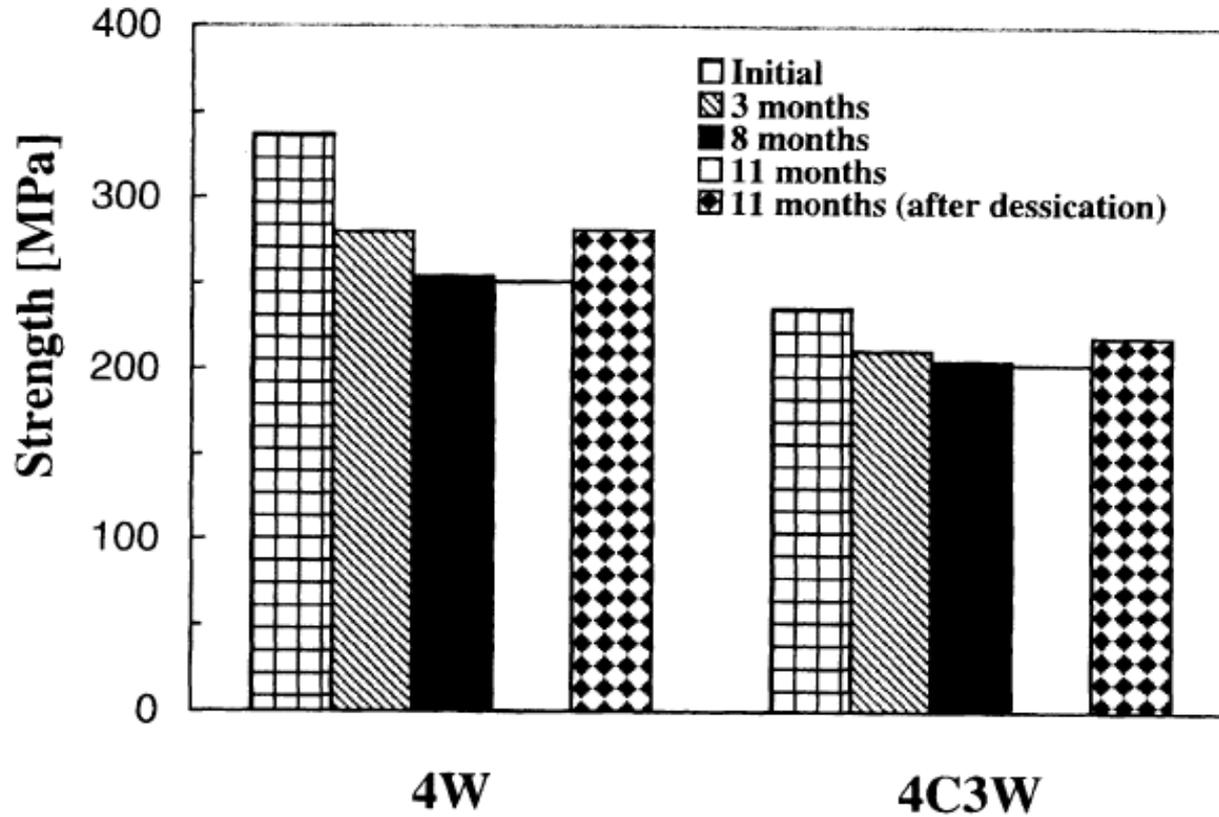
Sometido a tres condiciones:

1-Inmerso en agua de 2.5% NaCl, según ASTM-1183.

2-Sometidos al ambiente de 15, 25, 28 y 35° C por 540 días, (en Sidney).

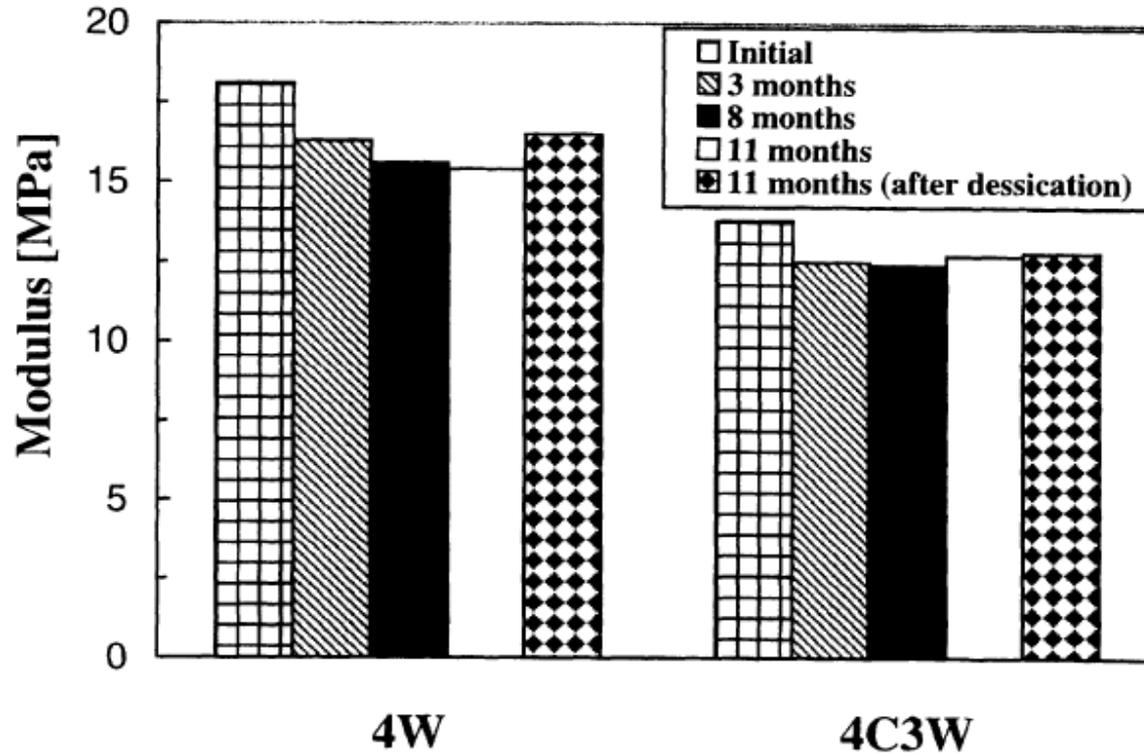
3-Ciclos de temperatura acelerados.

Zhang, Karbhari (1993) [3 de 9]



(a)

Zhang, Karbhari (1993) [4 de 9]



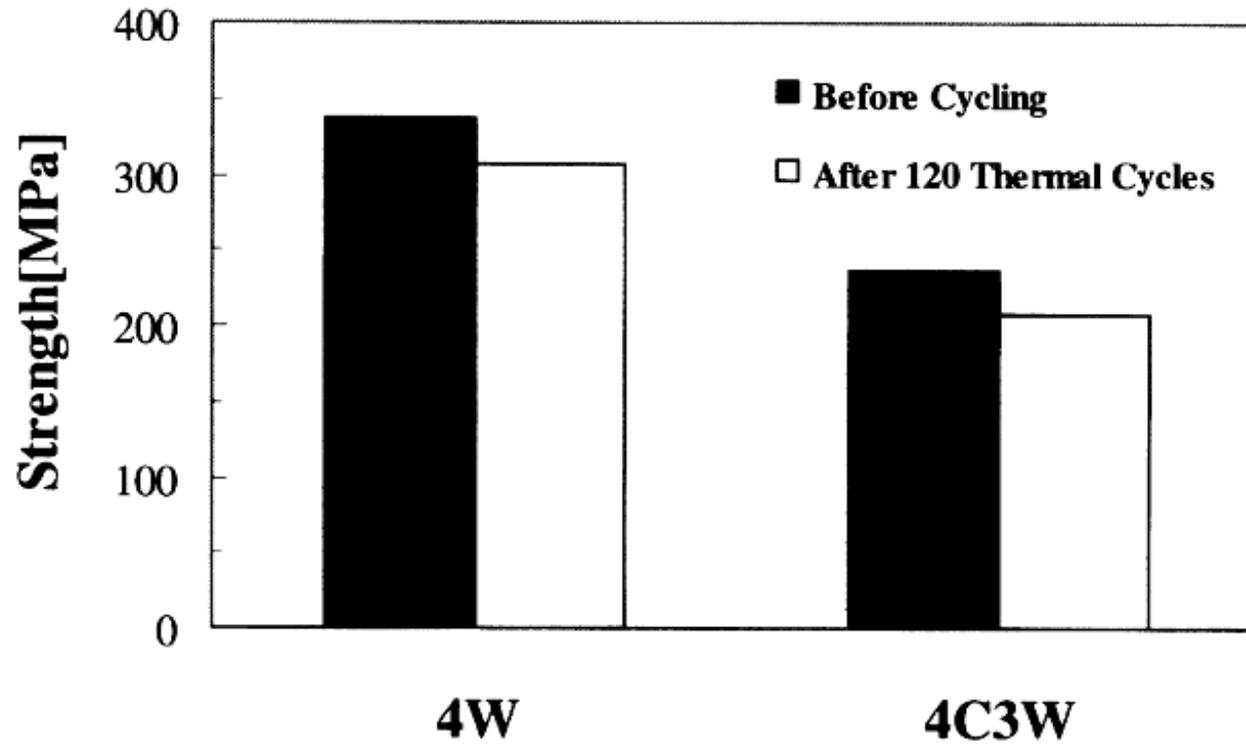
(b)

Zhang, Karbhari (1993) [5 de 9]

Table 3. Effect of redrying on strength and stiffness of specimens immersed in salt solution for 11 months.

Specimen Type	Condition	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)	% Retention of Properties	
				Strength	Modulus
Plain weave (4W)	Ambient	337 ± 14	18.1 ± 0.4	100	100
	Wet—11 month immersion	251 ± 13	15.4 ± 0.4	74.5	85.1
	Dry—after 11 month immersion	281 ± 10	16.5 ± 0.2	83.4	91.2
Chopped strand mat + plain weave (4C3W)	Ambient	236 ± 11	13.8 ± 0.1	100	100
	Wet—11 month immersion	203 ± 16	12.7 ± 0.2	86	92
	Dry—after 11 month immersion	219 ± 7	12.8 ± 0.2	92.8	92.8

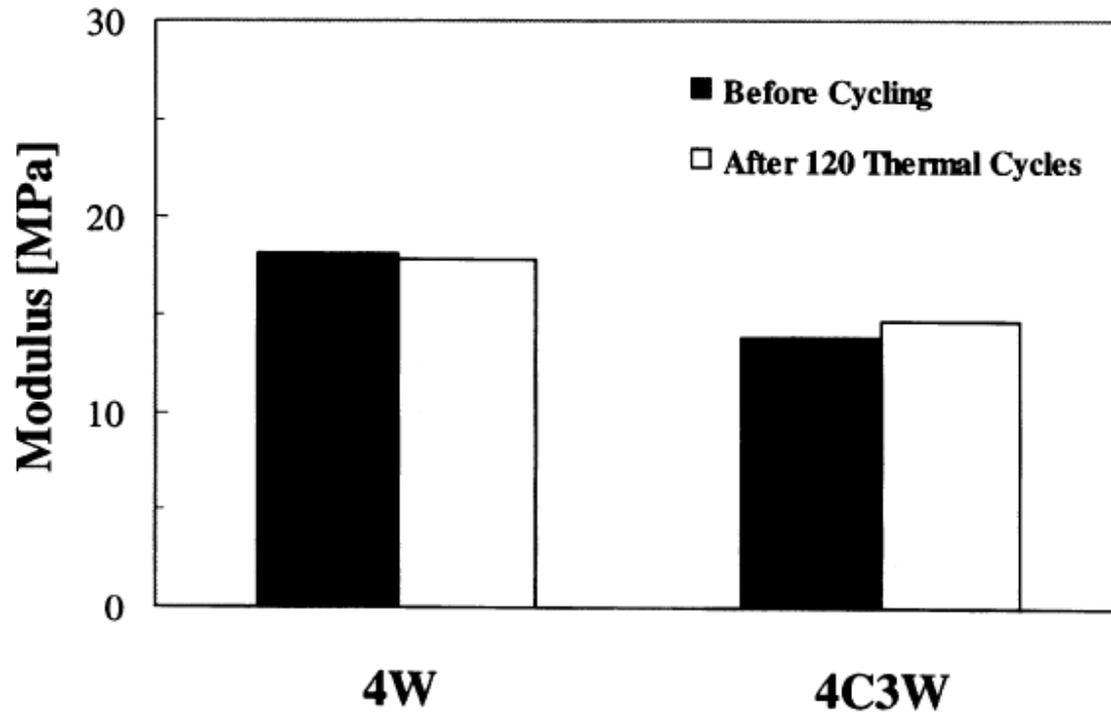
Zhang, Karbhari (1993) [6 de 9]



(a)

Figure 5. Effect of accelerated temperature cycling on performance of 4W and 4C3W specimens.

Zhang, Karbhari (1993) [7 de 9]



(b)

Figure 5 (continued). Effect of accelerated temperature cycling on performance of 4W and 4C3W specimens.

Zhang, Karbhari (1993) [8 de 9]

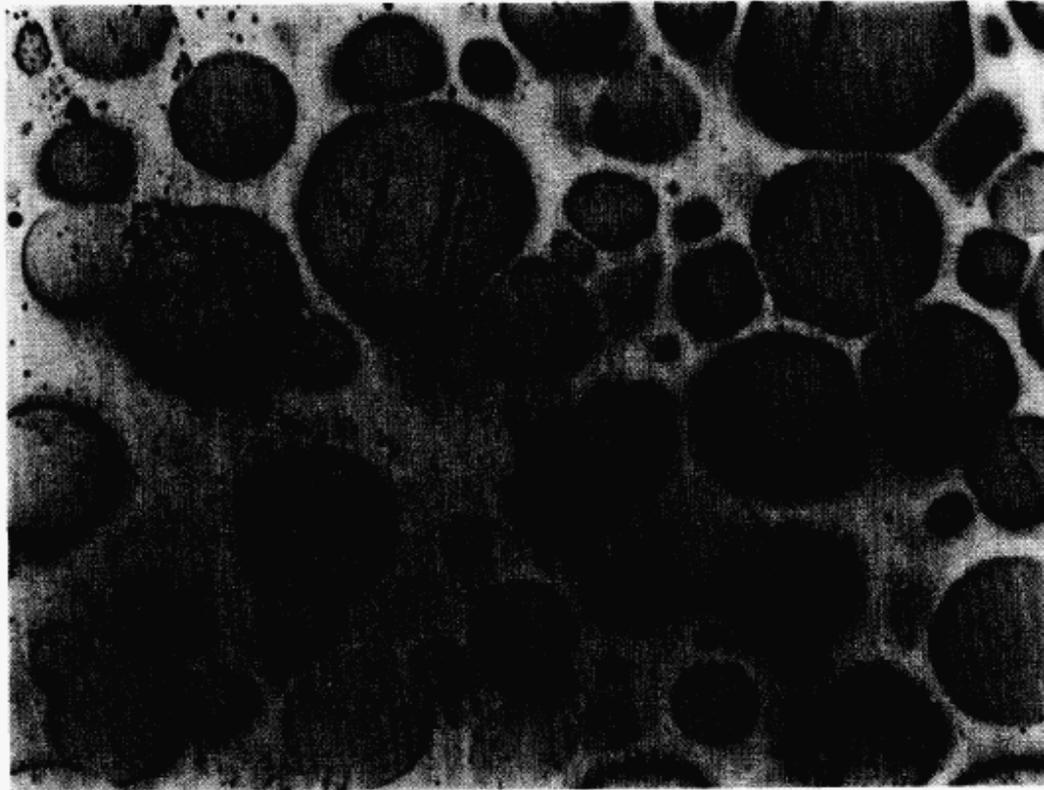
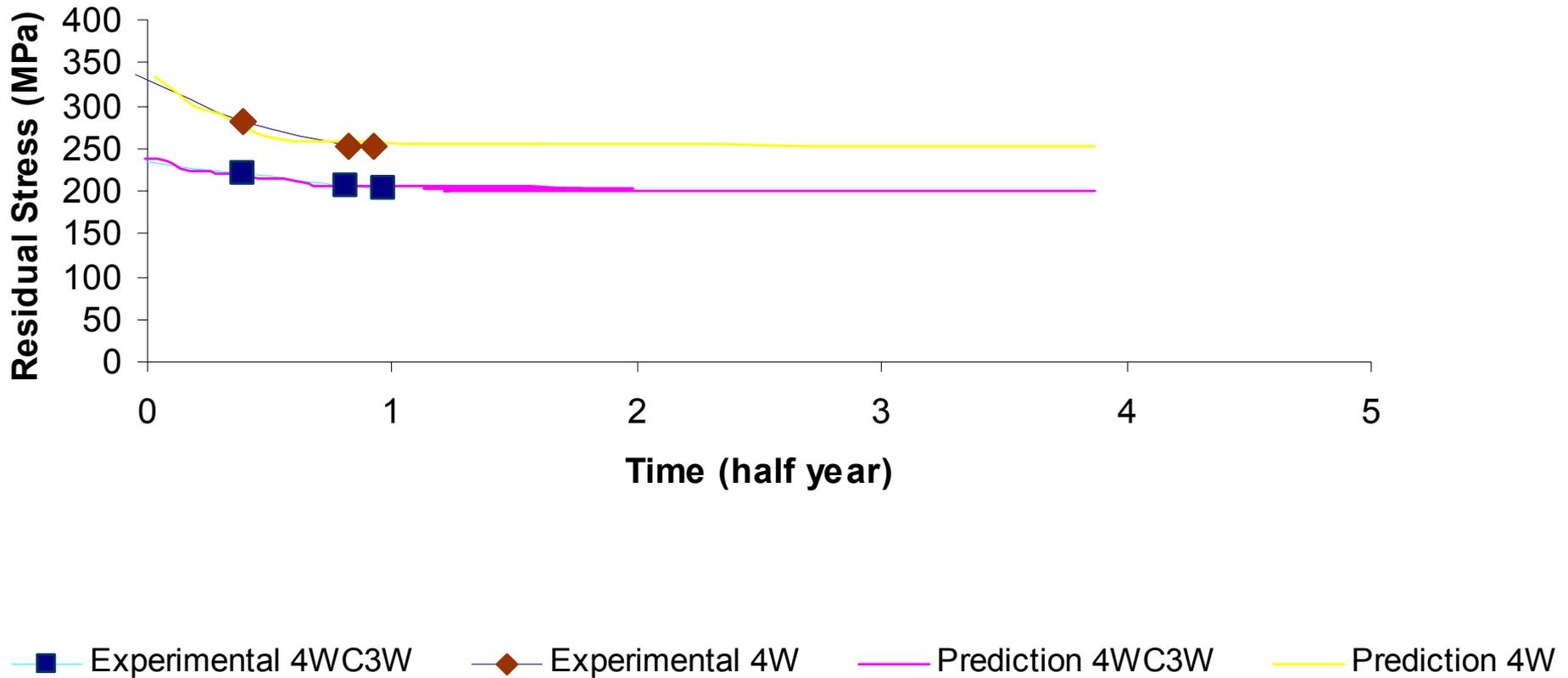


Figure 15. Micrograph showing fiber-matrix debonding and initiation of fiber degradation in the chopped strand mat layer of 4C3W after 17 months of outdoor exposure.

Zhang, Karbhari (1993) [9 de 9]

Comparison of Experimental Values of Strength with Predictions Based on Moisture Content



Iglesias et al (2002) [1 de 4]

Material:

- Fibra de vidrio con agentes **silane coupling**:
- APDES
- APTES
- APMES
- $V_f = 30\%$

Experimentos:

- Ensayos de tensión.
- Expuestos a 15 y 46 horas (2 días)

Iglesias et al (2002) [2 de 4]

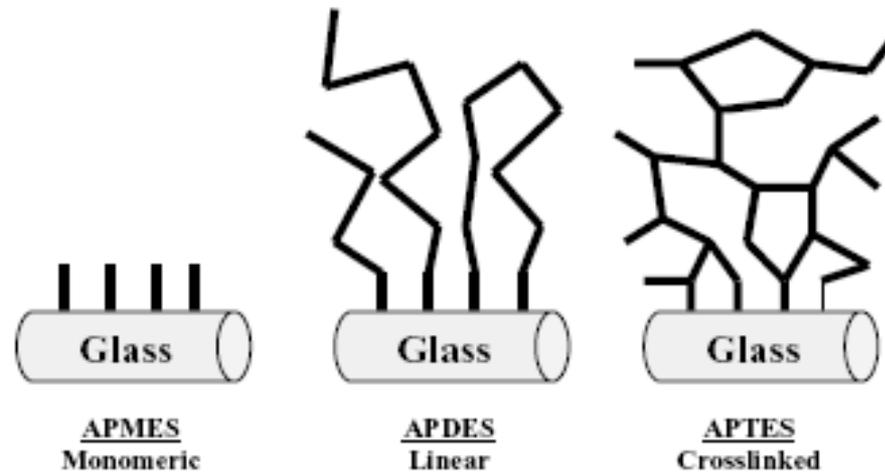
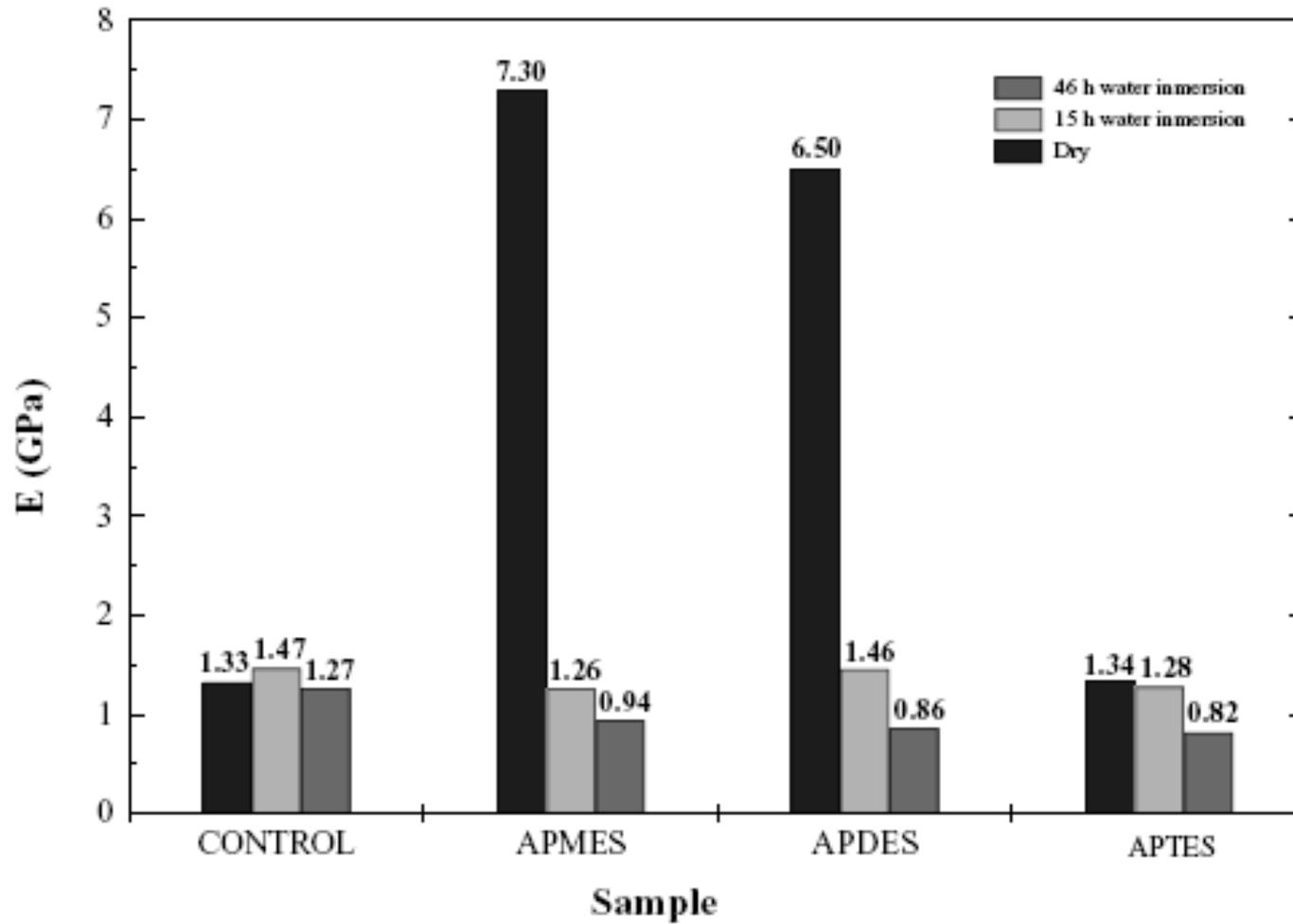


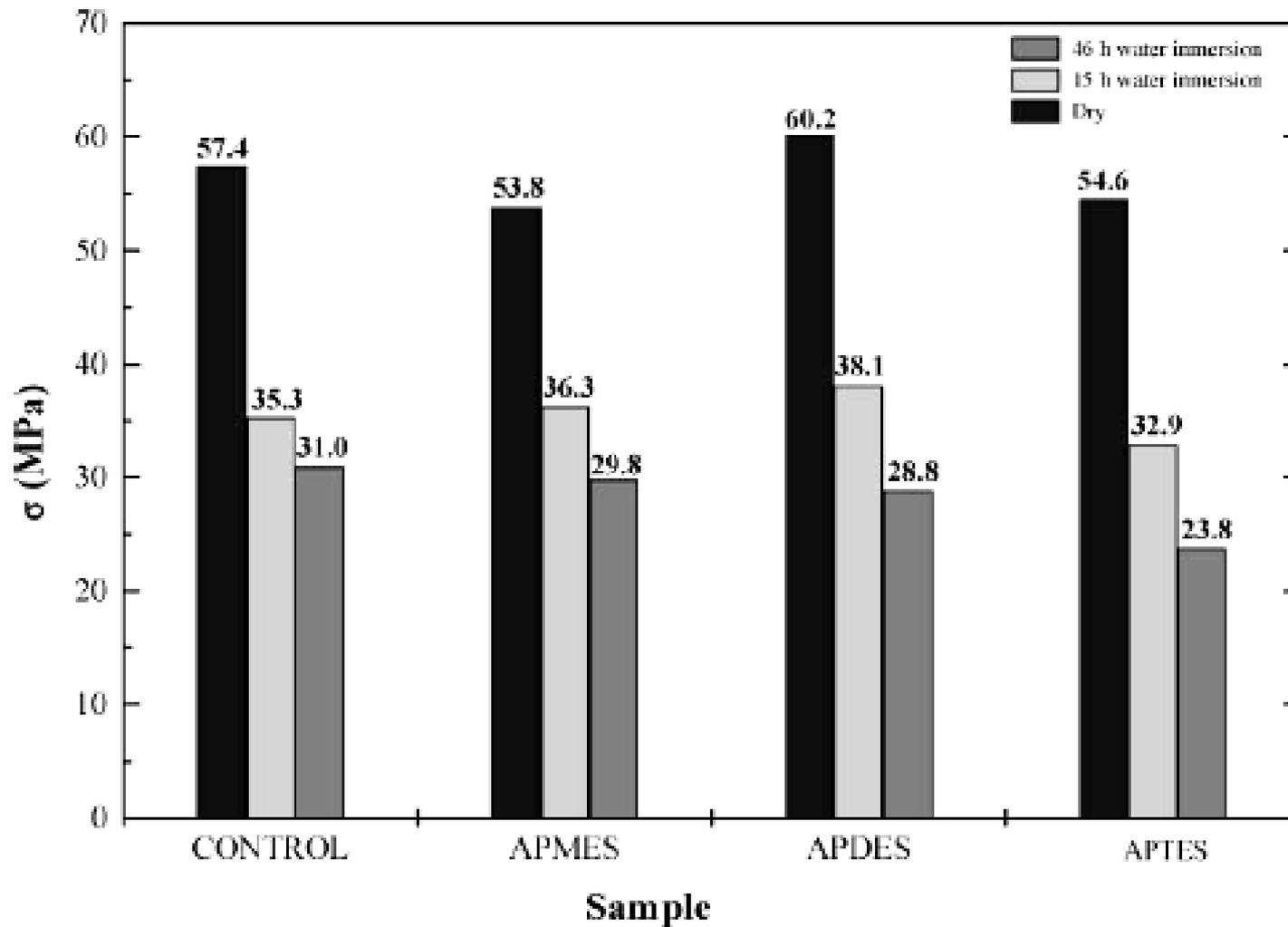
TABLE 1
 Young's Modulus, E , and Maximum Tensile Strength, σ , for Dry
 Glass Fiber/TRIEPOX Composites

Sample	E (GPa)	σ (MPa)
CONTROL	1.33 ± 0.08	57.4 ± 5.20
APMES	7.30 ± 2.50	53.8 ± 1.60
APDES	6.50 ± 0.80	60.2 ± 2.60
APTES	1.34 ± 0.07	54.6 ± 3.00
TRIEPOX	1.25 ± 0.10	50.5 ± 5.00

Iglesias et al (2002) [3 de 4]



Iglesias et al (2002) [4 de 4]



Kumazawa (1994) [1 de 5]

“High Humidity Deterioration and Internal Structure Change of Epoxy Resin for Electrical Insulation”

Material:

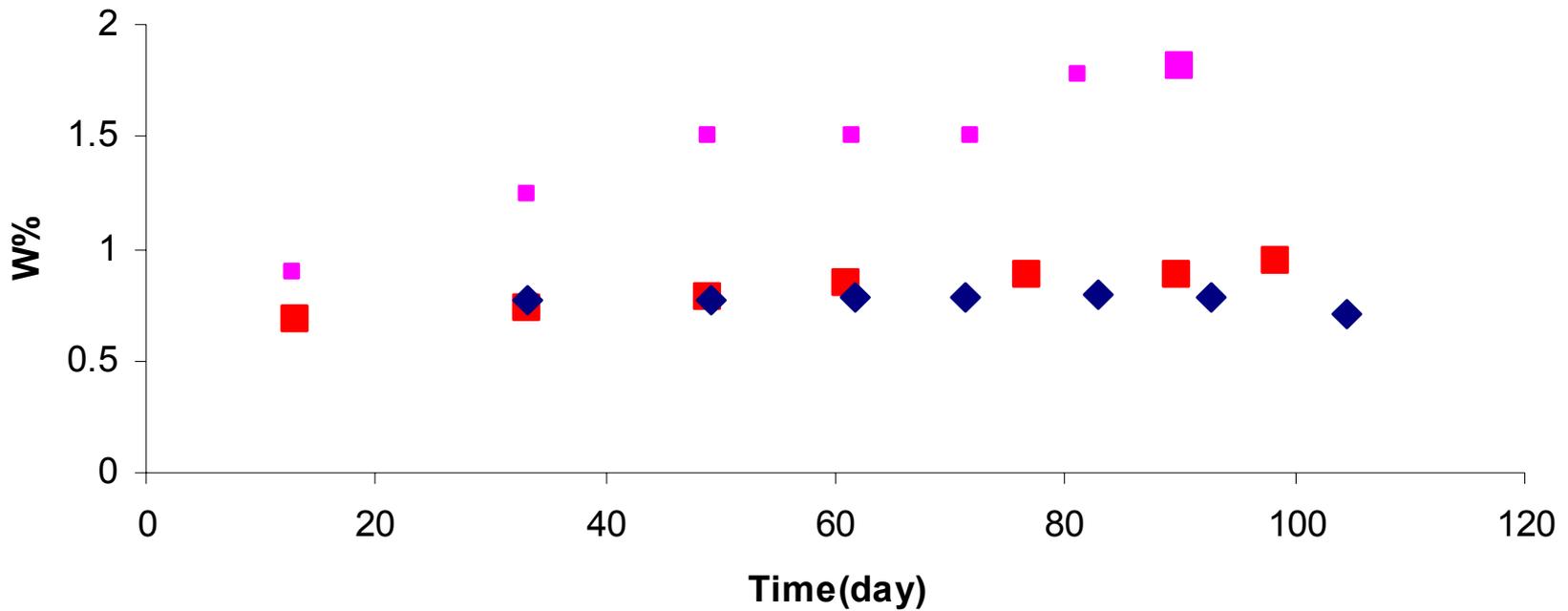
- Dos tipos de Glycidyl Ester Cycloaliphatic Bisphenol A Acid Anhydride
- La forma del espécimen fue dumbbell #1 3mm de espesor K7113

Experimentos:

- Ensayos de tensión en cada espécimen: 85, 87 Gpa.
- Sumergidos en agua (30, 60, 98% de RH) a una temperatura de 85 a 90°C.
- Tiempos hasta de 142 días.

Kumazawa (1994) [2 de 5]

Changes in water content in specimen A



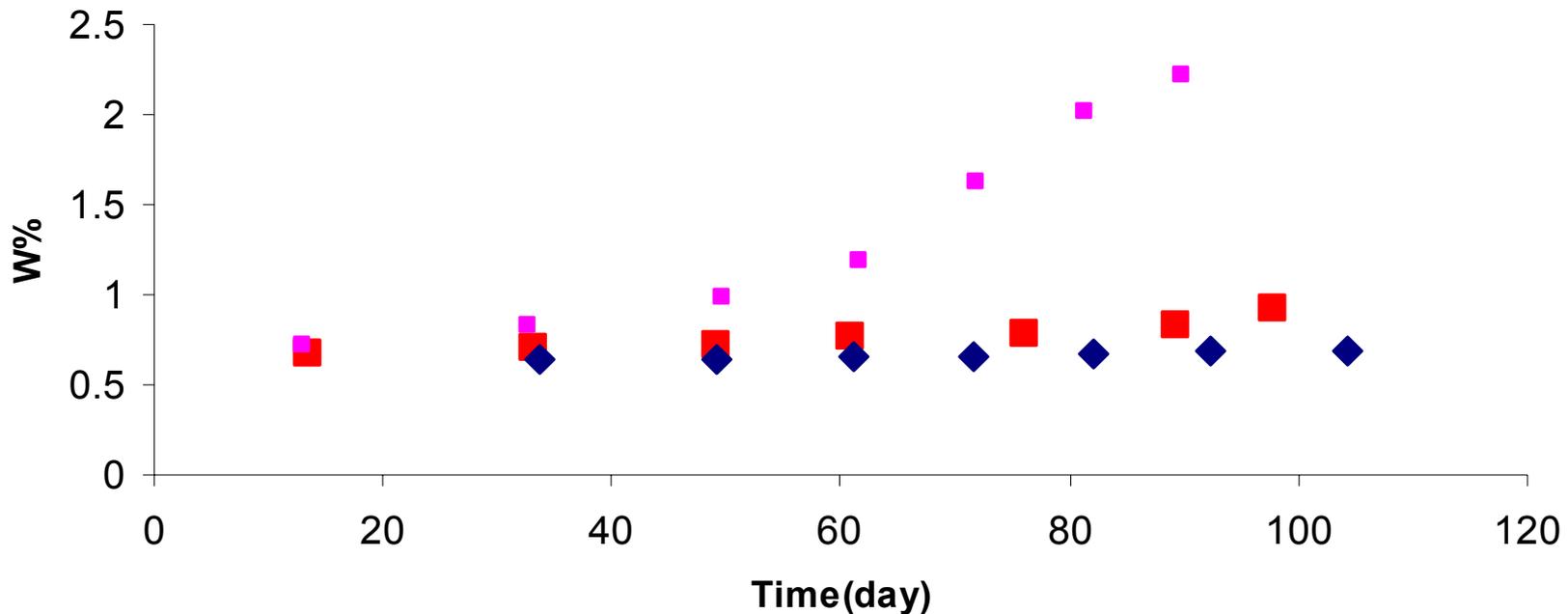
■ at 85°C y 30% RH

◆ at 85°C y 60% RH

■ at 85°C y 98% RH

Kumazawa (1994) [3 de 5]

Changes in water content in specimen B



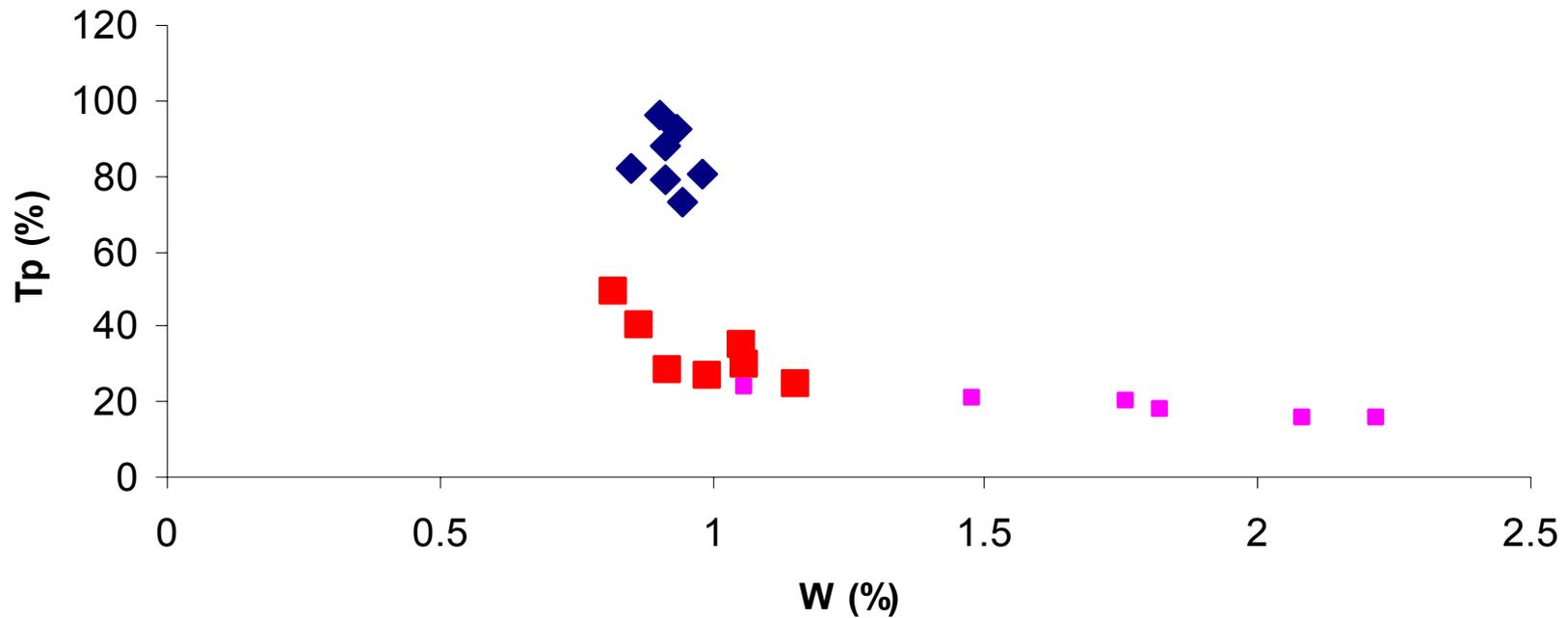
■ at 85°C y 30% RH

◆ at 85°C y 60% RH

■ at 85°C y 98% RH

Kumazawa (1994) [4 de 5]

Dependency Percentage Retention of Tensile Strength Specimen A



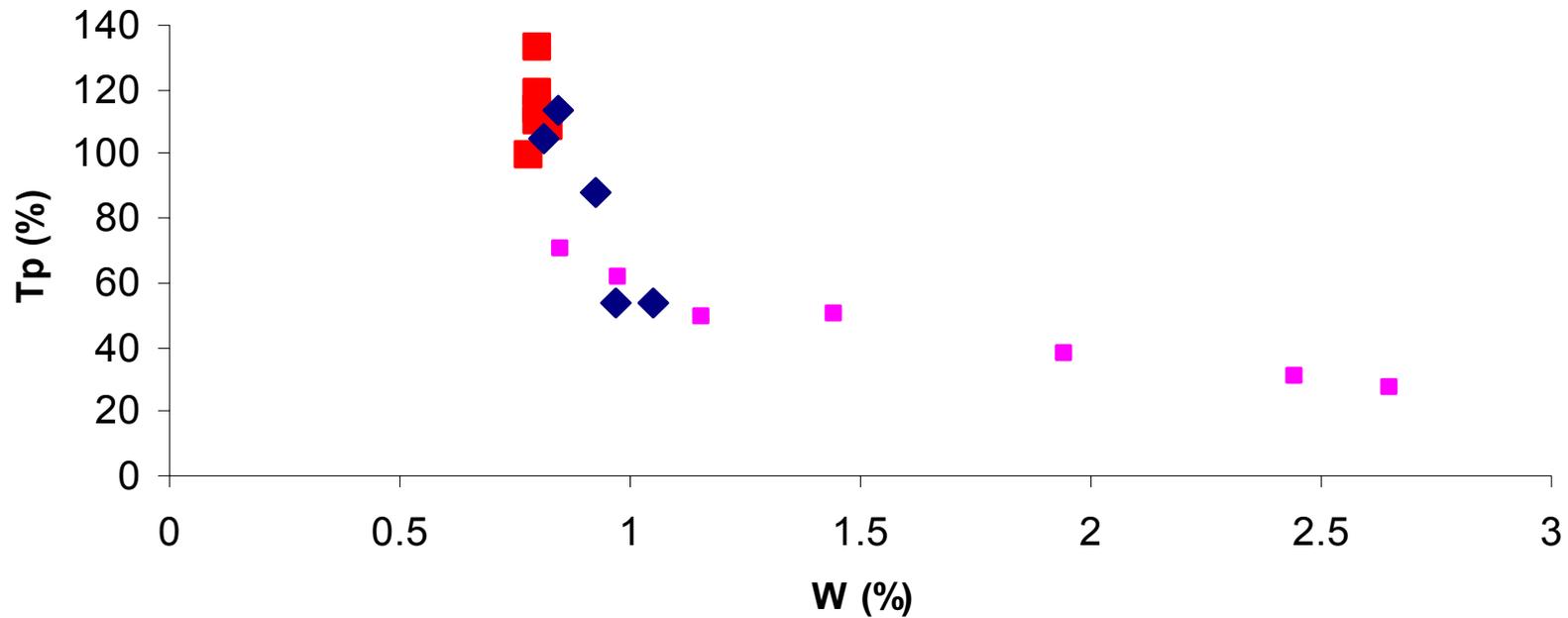
■ at 85°C y 30% RH

◆ at 85°C y 60% RH

■ at 85°C y 98% RH

Kumazawa (1994) [5 de 5]

Dependency Percentage Retention of Tensile Strength Specimen B



■ at 85°C y 30% RH

◆ at 85°C y 60% RH

■ at 85°C y 98% RH



..... **GRACIAS !!!!!**