



Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química



Trabajo Especial de Grado II

**TRATAMIENTOS PARA MEJORAR LA  
INTERACCIÓN EN FORMULACIONES  
DE EPDM /SÍLICE**

Tutores:

Prof. Carmen Albano

Prof. Miren Ichazo

Caracas, 2009

Realizado por:

Br. Tomás E. Monteverde D.



## **CAPÍTULO I**

- *FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN*

## **CAPÍTULO II**

- *MARCO METODOLÓGICO*
- *ANÁLISIS Y DISCUSIÓN*

## **CAPÍTULO III**

- *CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES*





# **CAPÍTULO I**

# **FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**





## ***Etileno-Propileno-Dieno (EPDM)***

***Resistencia al ozono***

***Resistencia a la intemperie***

***Baja conductividad eléctrica***

***Resistencia al envejecimiento***

***Resistencia a bajas temperaturas***





# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



**EPDM**





# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Usos variados  
del EPDM



**Industria  
Automotriz**



***Juntas de puertas***

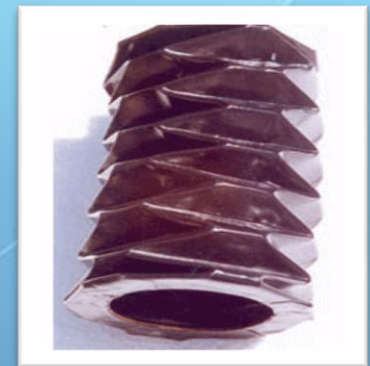


***Ventanillas***



***Gomas de limpiaparabrisas***

***Empacaduras***





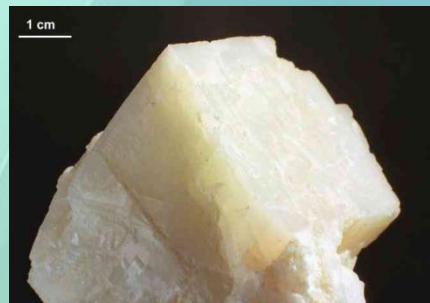


# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

***CARGAS  
INORGÁNICAS***



***Reforzamiento de  
compuestos***





# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

***CARGAS  
INORGÁNICAS***



***Mejoramiento de  
propiedades***

***Resistencia tensil***

***Rigidez***

***Desgarre***

***Resistencia a la abrasión***



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**EPDM**

***CARGAS  
INORGÁNICAS***

***Poca interacción***



***TRATAMIENTOS PARA MEJORAR LA  
INTERACCIÓN***





*• Caracterización de compuestos de caucho EPDM /Sílices con diferentes tratamientos de compatibilización.*



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

***1. Estudio de la influencia del tamaño de la sílice (dos diferentes tamaños) sobre las propiedades físicas, reométricas, mecánicas y de envejecimiento del sistema EPDM/Sílice.***

***2. Funcionalización del EPDM con anhídrido maleico.***

***3. Estudio de diferentes tratamientos de compatibilización (usos de silano, Polietilenglicol y EPDM funcionalizado) sobre las propiedades físicas, reométricas, mecánicas y de envejecimiento del sistema EPDM/Sílice.***



## **CAPÍTULO II**

# **METODOLOGÍA ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**





***Tipos de tratamiento de compatibilización***



***Formulación y Mezclado***



***Pruebas Reométricas***



***Vulcanización por compresión***

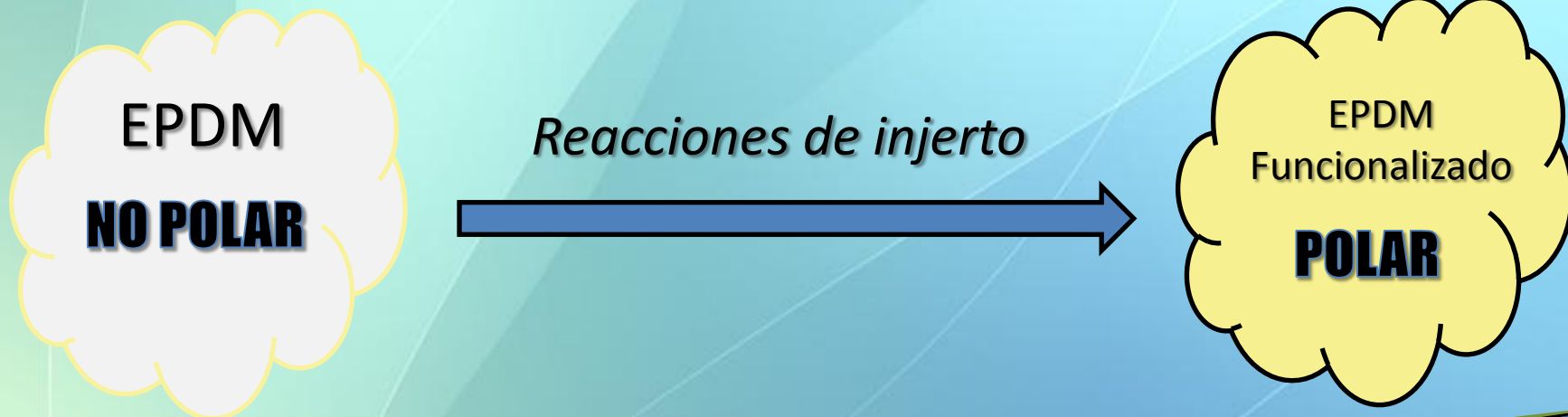


***Pruebas Mecánicas***



## ***Tipos de tratamiento de compatibilización***

### ***- Funcionalización del EPDM***





## ***Tipos de tratamiento de compatibilización***

### ***Preparación***

EPDM

Anhídrido Maleico

Peróxido de Dicumilo

### **RHEOMIX**



EPDM  
Funcionalizado

### **2da FASE**

Temperatura  
>180 °C

Velocidad  
de Rotor  
80 rpm

Tiempo  
1:30  
min

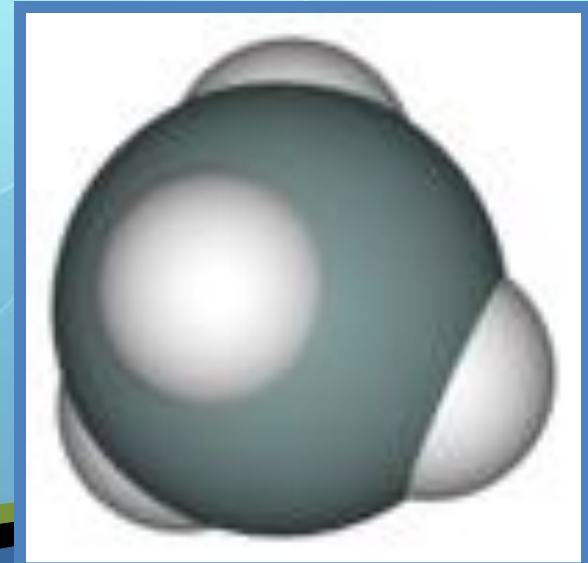
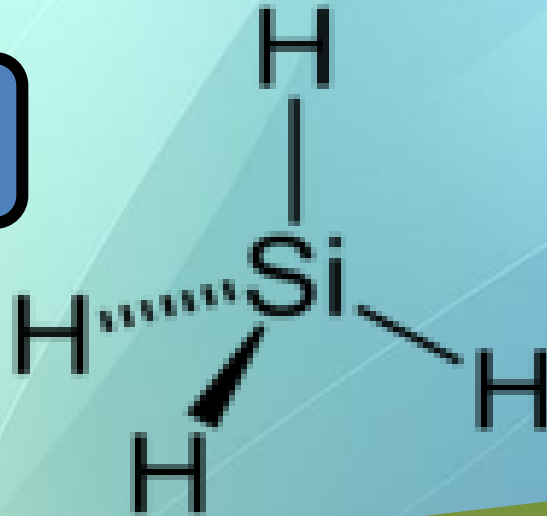




## ***Tipos de tratamiento de compatibilización***

***- Agente acoplante tipo Silano***

***SILANOS***

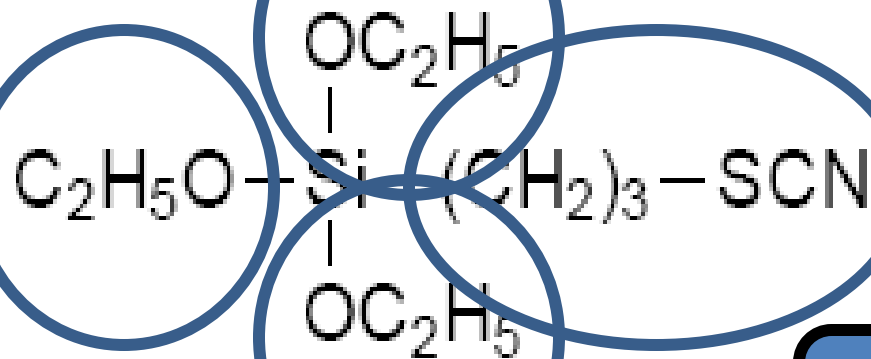




## ***Tipos de tratamiento de compatibilización***

***- Agente acoplante tipo Silano***

***Grupo Alcohólico***



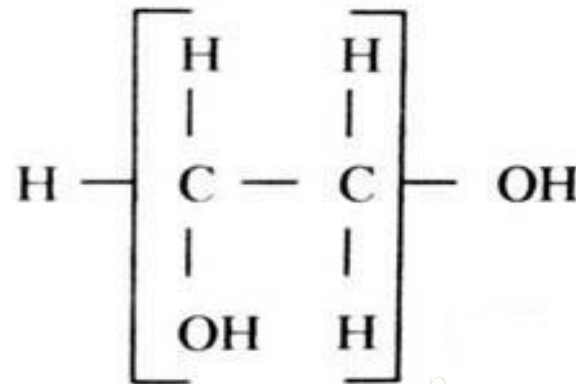
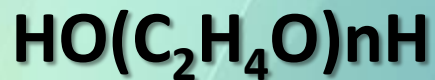
***Grupo organo-funcional***



## ***Tipos de tratamiento de compatibilización***

***- Agente acoplante Polietilenglicol (PEG)***

***POLIETILENGLICOL***







## ***Tipos de tratamiento de compatibilización***

***- Agente acoplante tipo Silano***

***Preparación: - Agente acoplante Polietilenglicol***

1. Se preparó una solución 1:9 de agente acoplante - agua, siendo la masa del silano el 5% y 10% de la masa de la sílice en la formulación a evaluar respectivamente.
2. Se colocó la sílice a tratar en un mezclador.
3. Se fué rociando con un aspersor la solución agente acoplante - agua sobre la sílice cada 20 segundos, hasta agotar la solución.



## ***Tipos de tratamiento de compatibilización***

***- Agente acoplante tipo Silano***

***Preparación: - Agente acoplante Polietilenglicol***

4. Luego se dejó mezclando la sílice con la solución aproximadamente por 30 minutos adicionales.

5. Una vez transcurrido el tiempo se dejó secar la sílice por 4 horas a una temperatura de 70 °C y a presión de vacío.

6. Finalmente acabado el tiempo de secado, la carga estuvo lista para el proceso de mezclado y el proceso experimental para cada formulación.



***Tipos de tratamiento de compatibilización***



***Formulación y Mezclado***





# FORMULACIÓN Y MEZCLADO

## Formulaciones (ppc) - FORMULACIONES

FORMULACIONES	EPDM	EPDM <sub>fun</sub>	Ácido esteárico	Óxido de Zinc	Silice 150	Silice 250	NH	MBT	TMTD	Azufre	PEG	SIL
F1	100	-	1,0	5,0	-	-	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F2	100	-	1,0	5,0	30	-	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F3	100	-	1,0	5,0	-	30	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F4	100	-	1,0	5,0	-	-	30	1,0	1,5	1,5	-	-
F5	90	10	1,0	5,0	-	-	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F6	80	20	1,0	5,0	-	-	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F7	70	30	1,0	5,0	-	-	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F8	90	10	1,0	5,0	30	-	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F9	80	20	1,0	5,0	30	-	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F10	70	30	1,0	5,0	30	-	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F11	90	10	1,0	5,0	-	30	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F12	80	20	1,0	5,0	-	30	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F13	70	30	1,0	5,0	-	30	-	1,0	1,5	1,5	-	-
F14	100	-	1,0	5,0	30	-	-	1,0	1,5	1,5	-	1,5
F15	100	-	1,0	5,0	30	-	-	1,0	1,5	1,5	-	3,0
F16	100	-	1,0	5,0	-	30	-	1,0	1,5	1,5	-	1,5
F17	100	-	1,0	5,0	-	30	-	1,0	1,5	1,5	-	3,0
F18	100	-	1,0	5,0	30	-	-	1,0	1,5	1,5	1,5	-
F19	100	-	1,0	5,0	30	-	-	1,0	1,5	1,5	3,0	-
F20	100	-	1,0	5,0	-	30	-	1,0	1,5	1,5	1,5	-
F21	100	-	1,0	5,0	-	30	-	1,0	1,5	1,5	3,0	-



## Formulación y Mezclado

### Primera Etapa

### BANBURY

#### Control

EPDM

Tiempo  
5:00  
min

Velocidad  
de Rotor  
77 rpm



Mezcla  
Resultante

#### Medir

Óxido de zinc

Temperatura  
 $\leq 150$  °C

Rubber 10g ó

Potencia



## Formulación y Mezclado

### Segunda Etapa

### BANBURY



Mezcla  
Caucho  
Final

### Controlar

Tiempo  
2:30  
min

Velocidad  
de Rotor

Medir  
Primera

Temperatura  
 $\leq 110$  °C

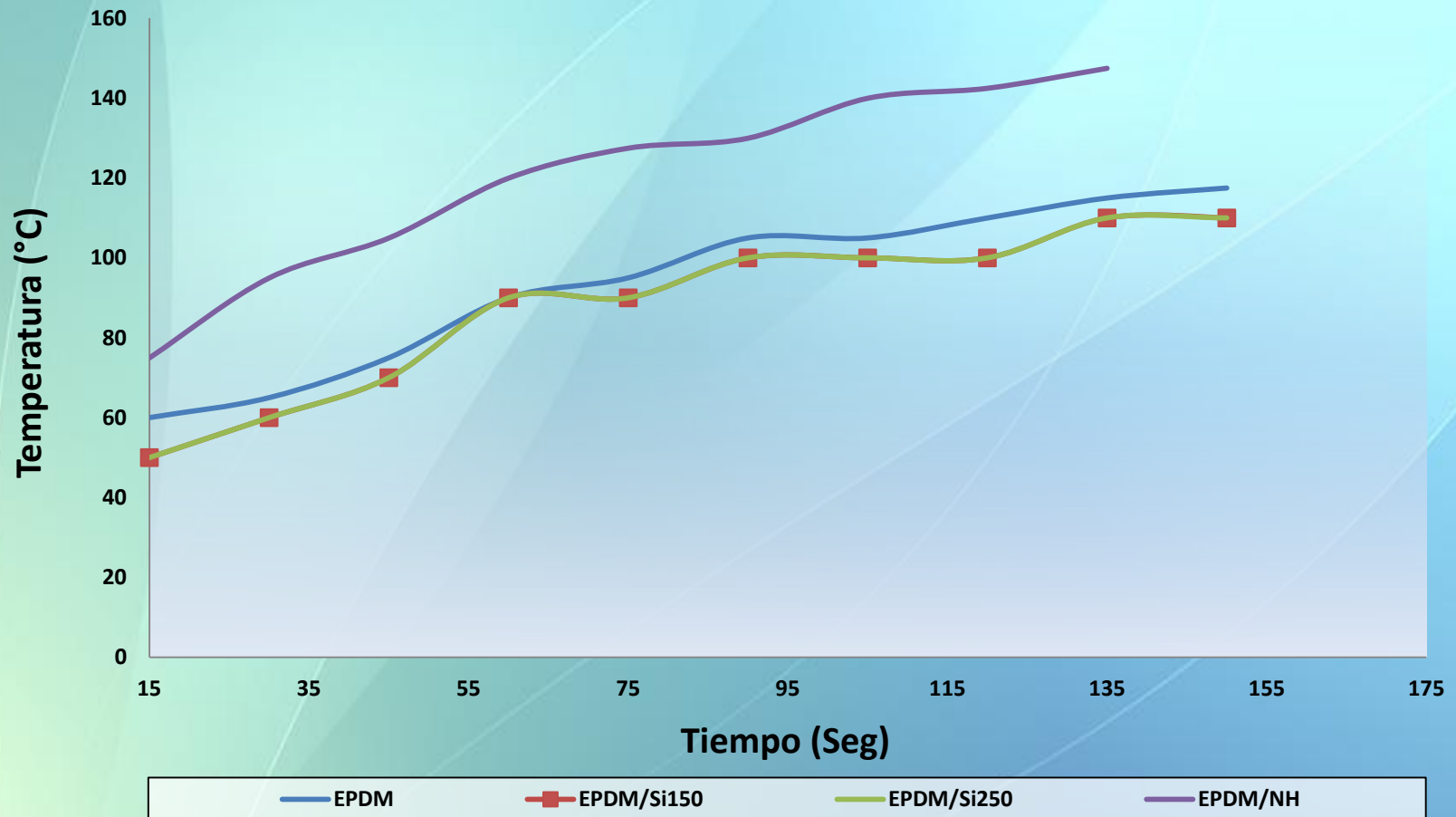
Potencia

S



## - FORMULACIONES BASE

### Variación de la temperatura en la 1ra etapa de mezclado

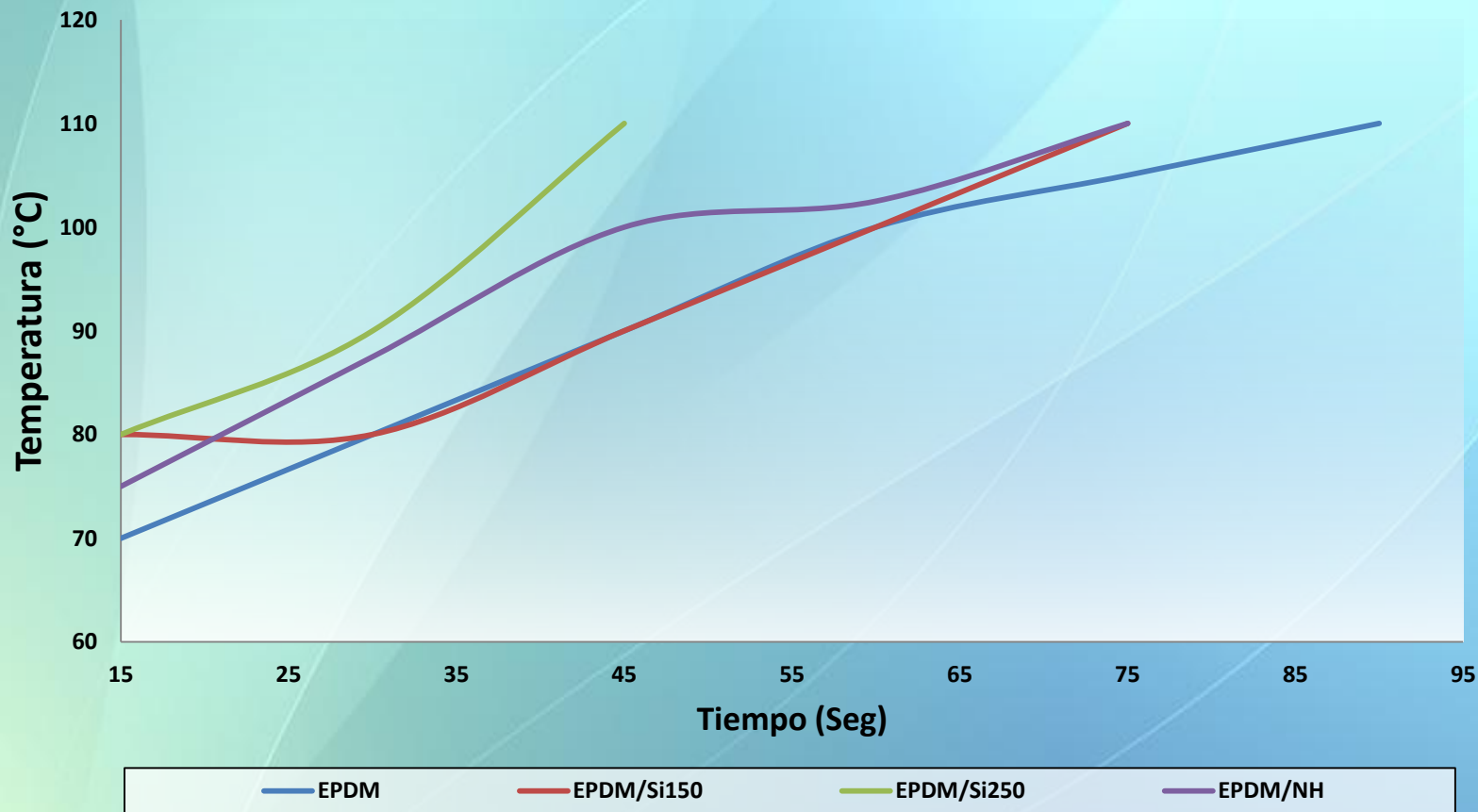






## - FORMULACIONES BASE

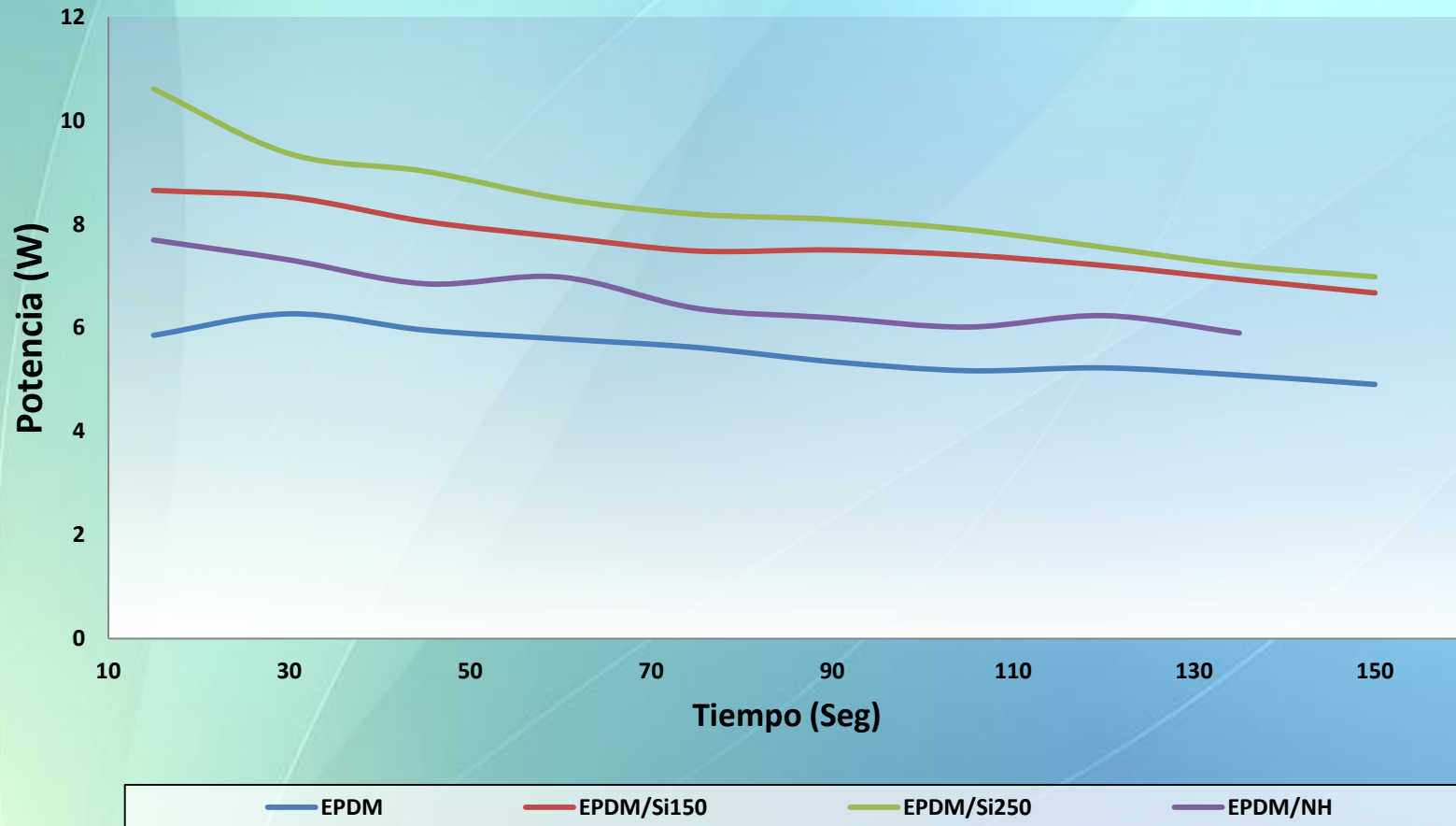
### *Variación de la temperatura en la 2da etapa de mezclado*





## - FORMULACIONES BASE

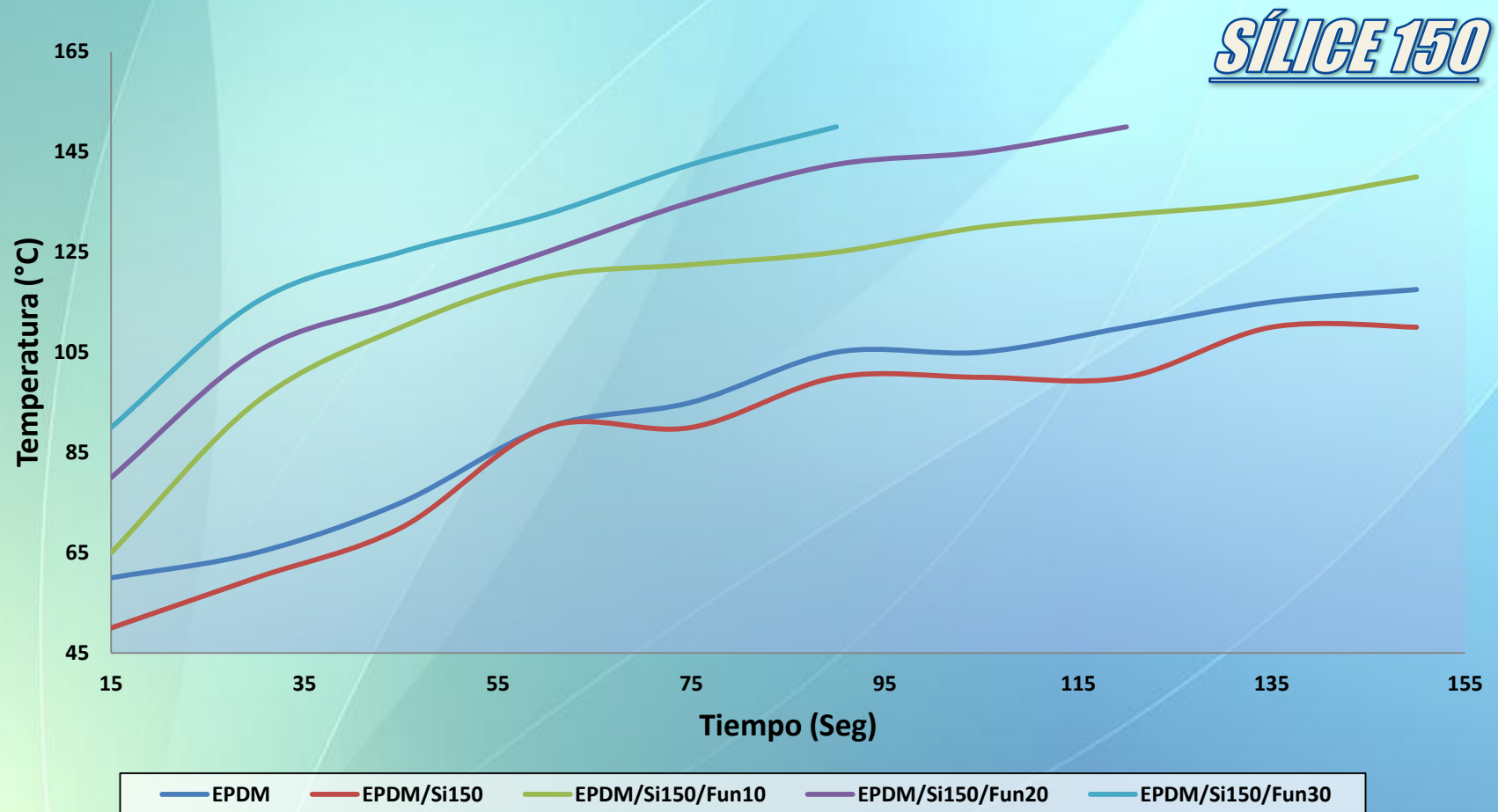
### Variación de la potencia en la 1ra etapa de mezclado





## - FORMULACIONES EPDM FUN

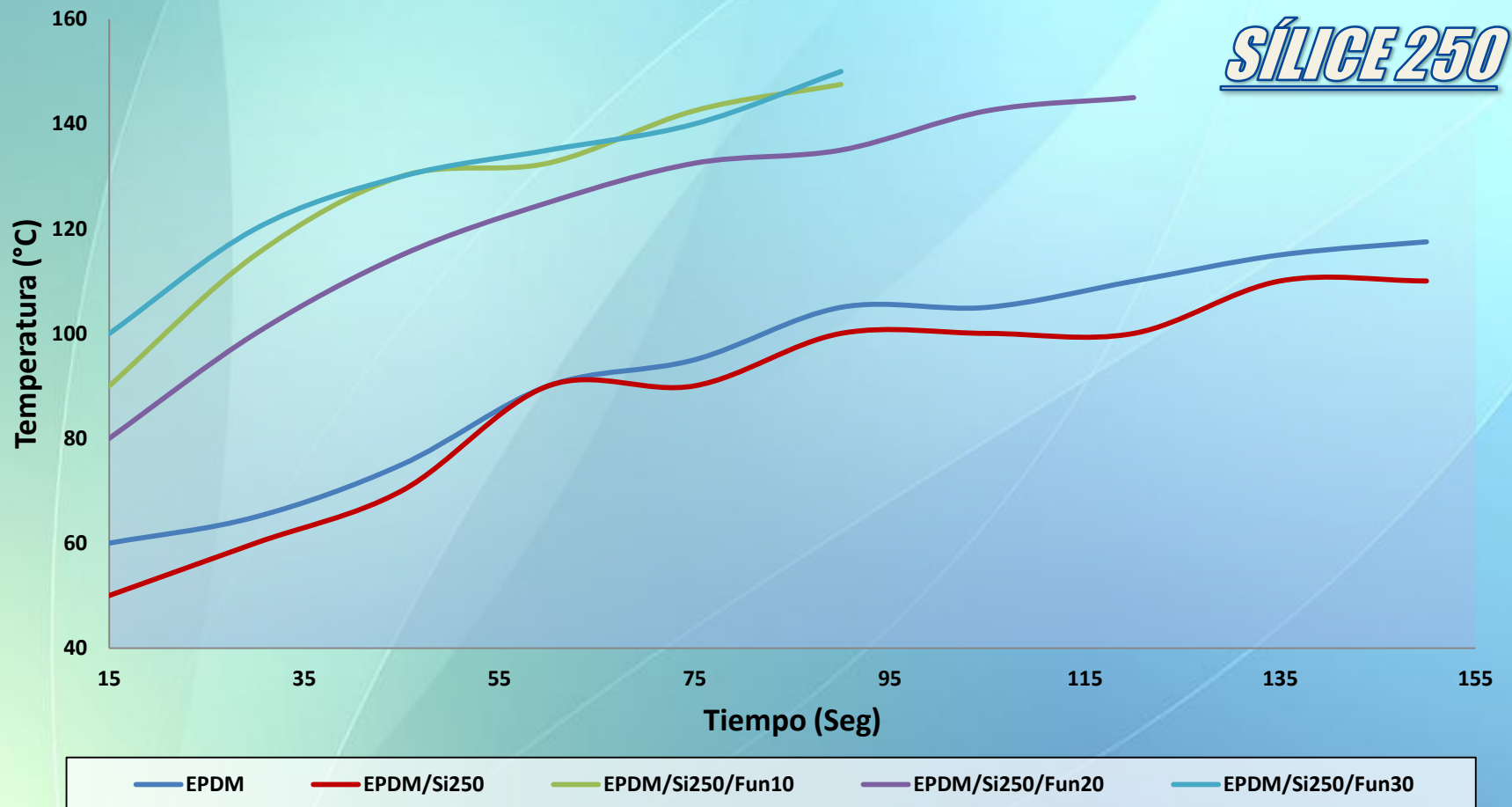
### Variación de la temperatura en la 1ra etapa de mezclado





## - FORMULACIONES EPDM FUN

### Variación de la temperatura en la 1ra etapa de mezclado



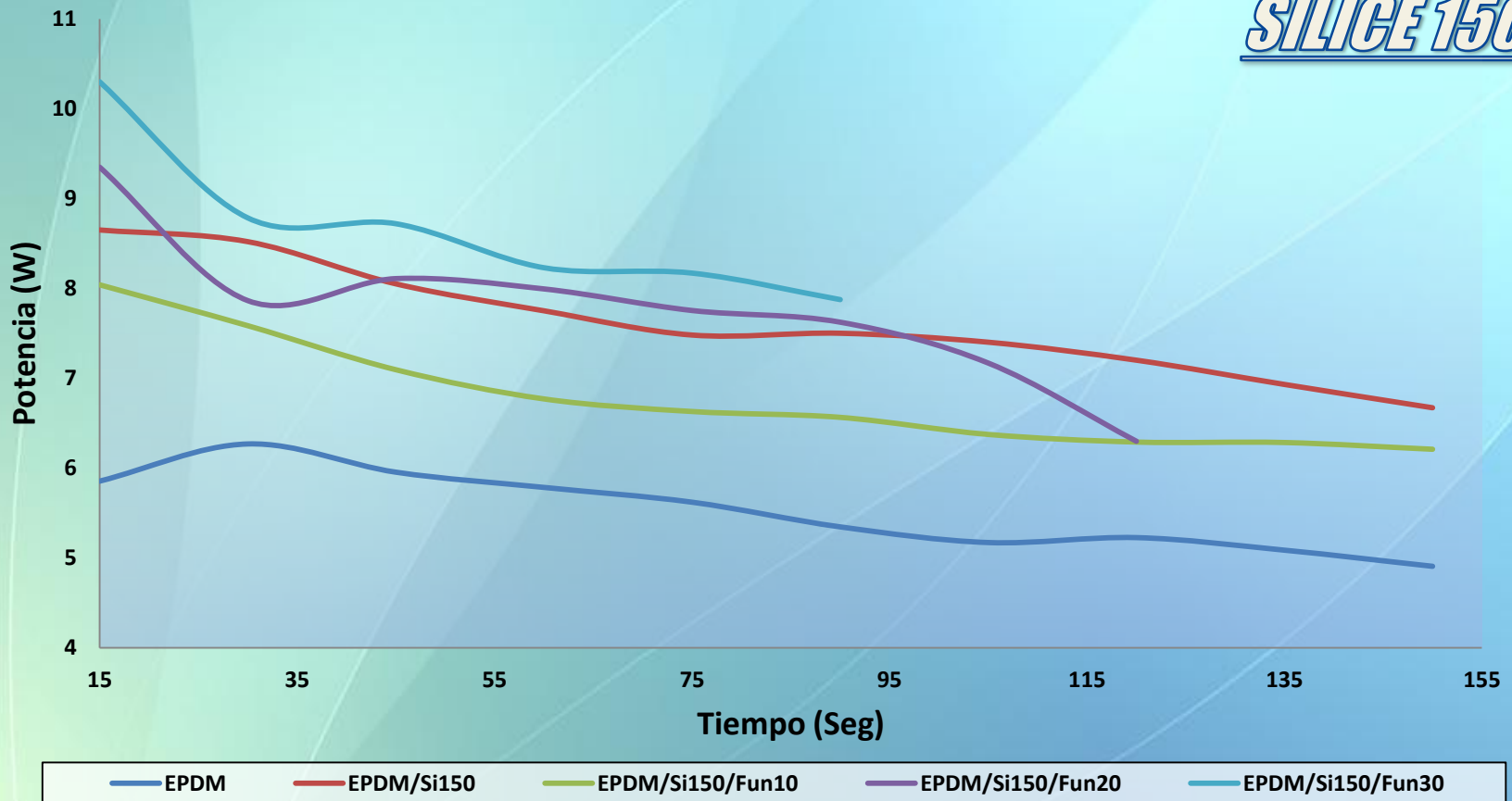




## - FORMULACIONES EPDM FUN

### Variación de la potencia en la 1ra etapa de mezclado

SÍLICE 150

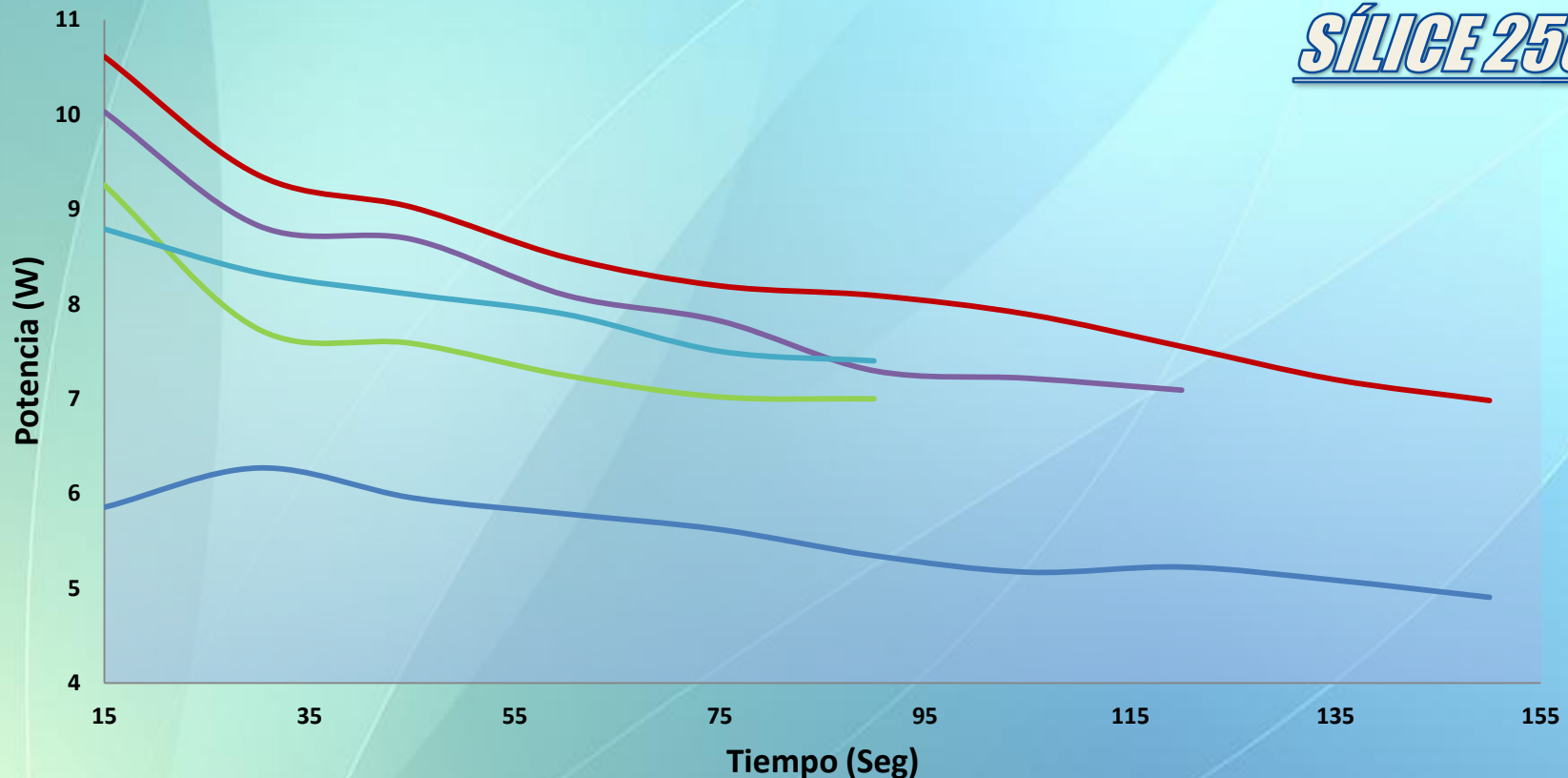




## - FORMULACIONES EPDM FUN

### Variación de la potencia en la 1ra etapa de mezclado

SÍLICE 250



EPDM

EPDM/Si250

EPDM/Si250/Fun10

EPDM/Si250/Fun20

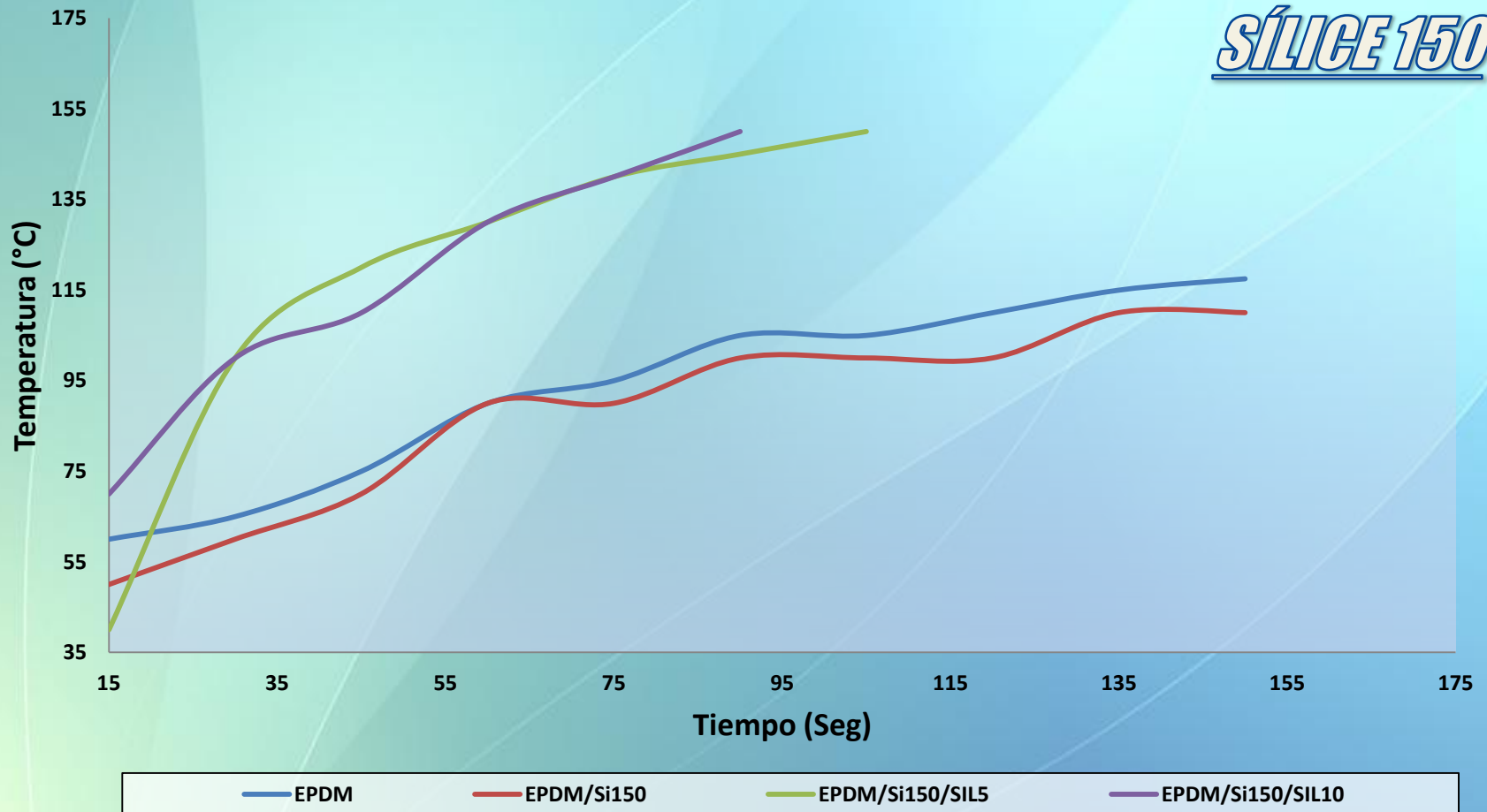
EPDM/Si250/Fun30



## - FORMULACIONES SILANO

### Variación de la temperatura en la 1ra etapa de mezclado

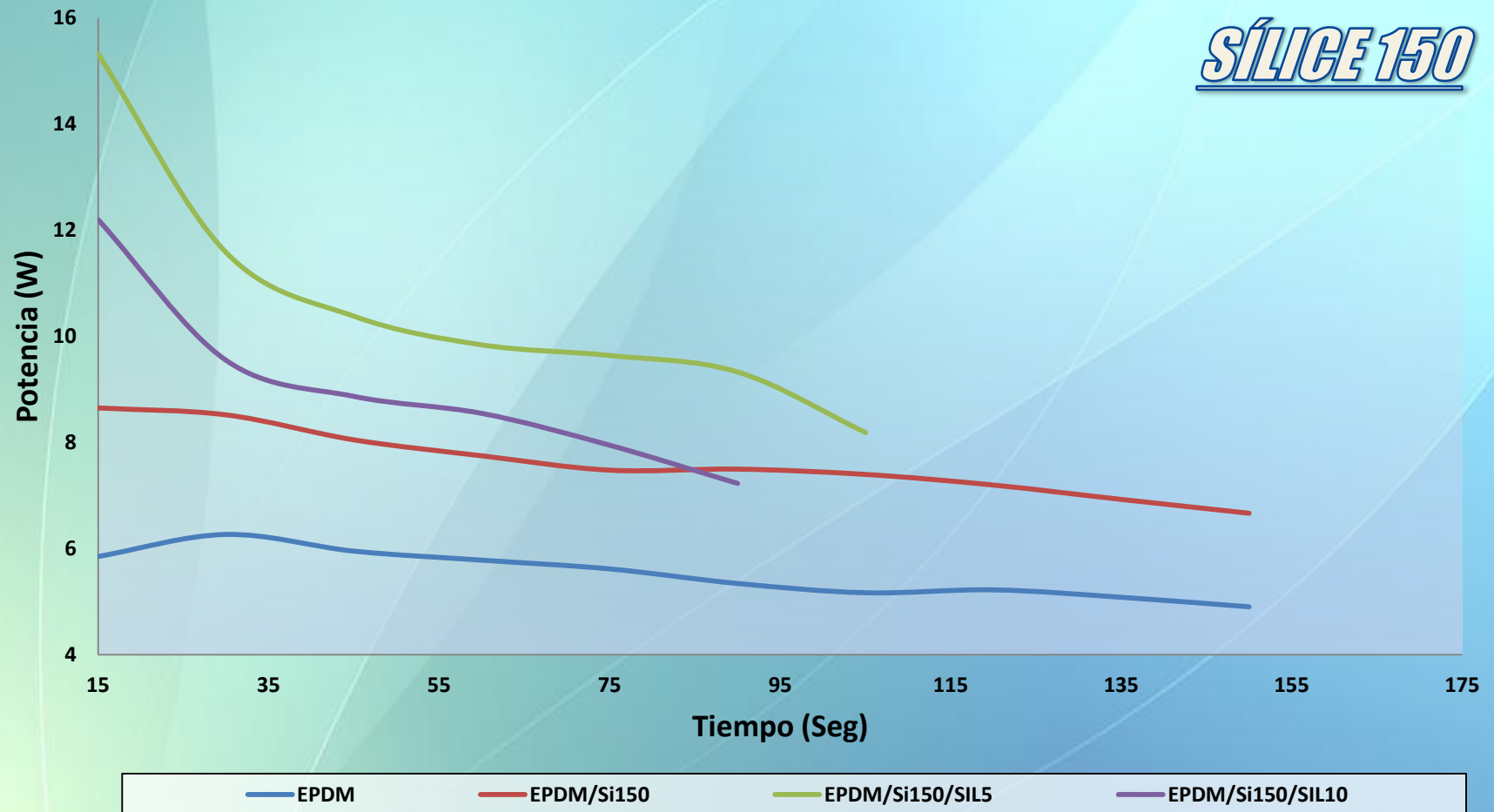
SÍLICE 150





## - FORMULACIONES SILANO

### Variación de la potencia en la 1ra etapa de mezclado



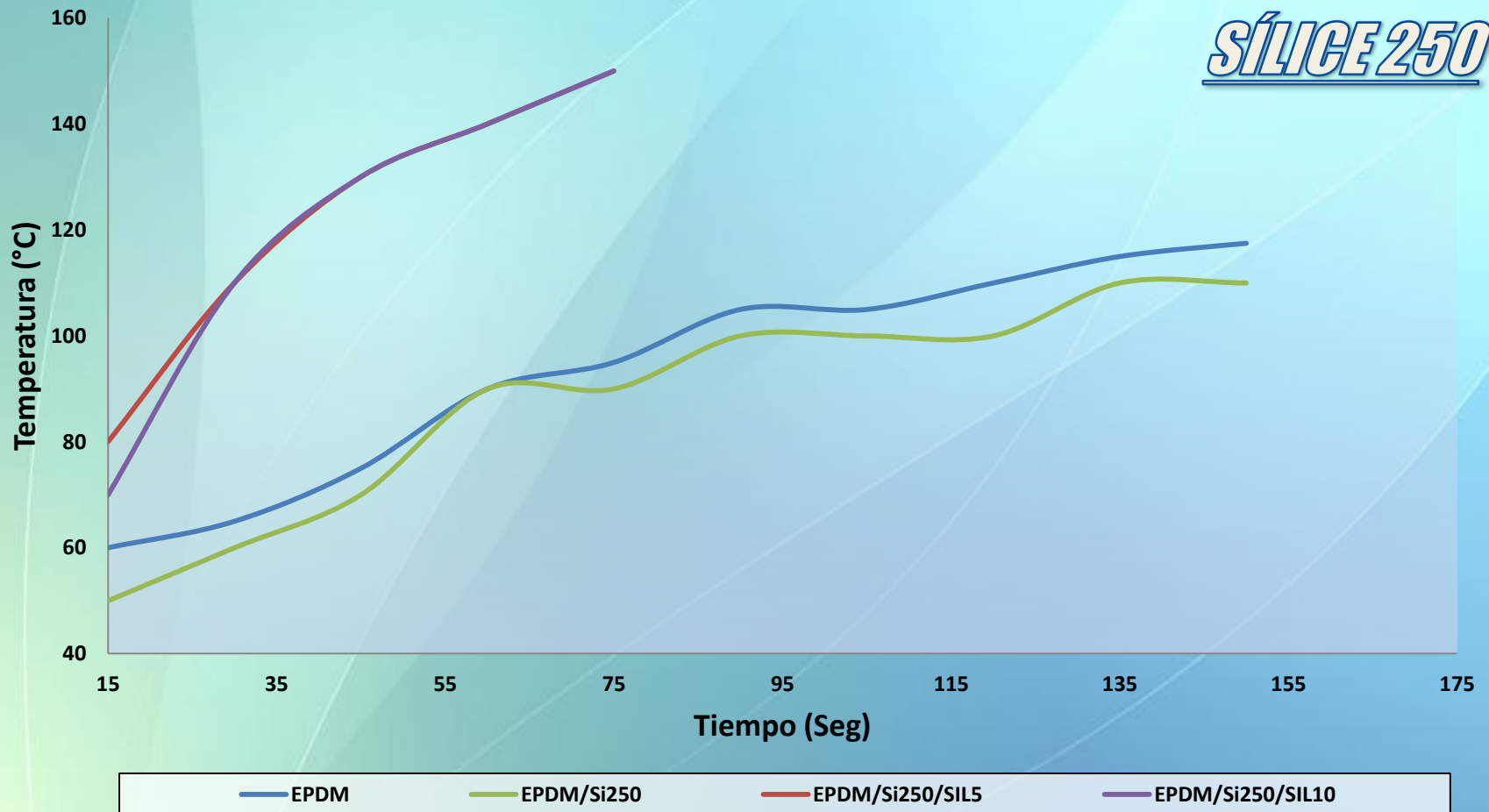




## - FORMULACIONES SILANO

### Variación de la temperatura en la 1ra etapa de mezclado

SÍLICE 250

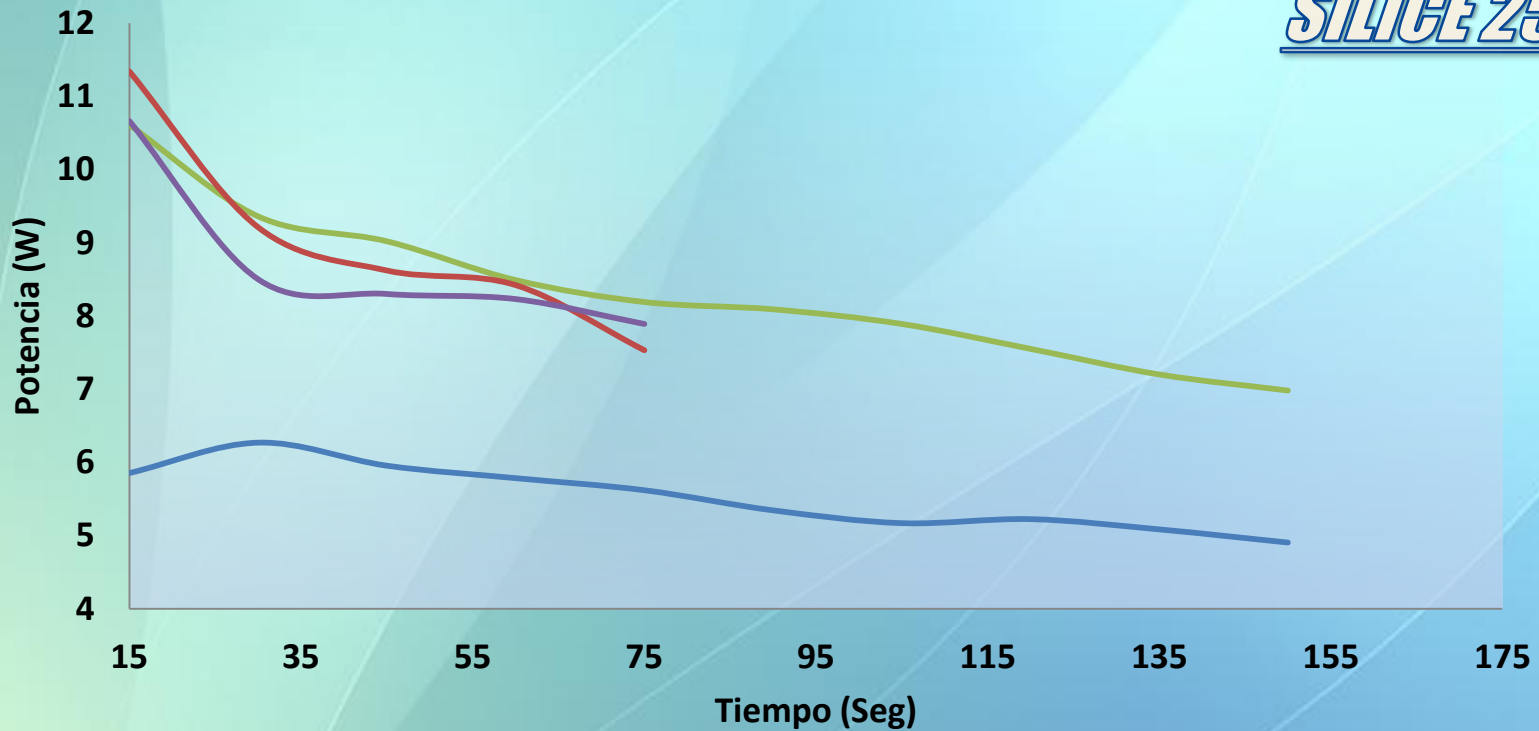




## - FORMULACIONES SILANO

### Variación de la potencia en la 1ra etapa de mezclado

SÍLICE 250



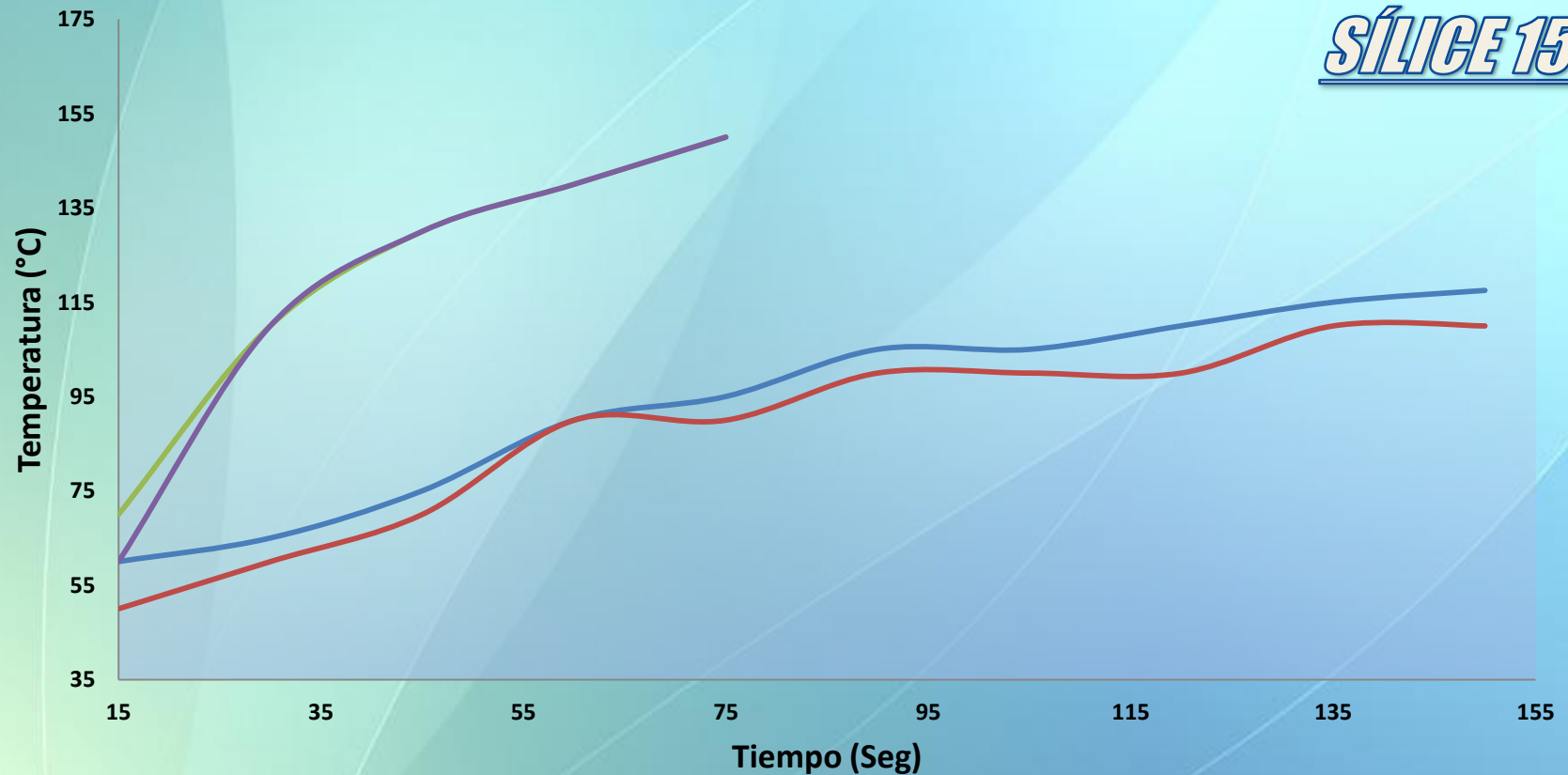
— EPDM — EPDM/Si250 — EPDM/Si250/SIL5 — EPDM/Si250/SIL10



## - FORMULACIONES PEG

### Variación de la temperatura en la 1ra etapa de mezclado

SÍLICE 150



— EPDM

— EPDM/Si150

— EPDM/Si150/PEG5

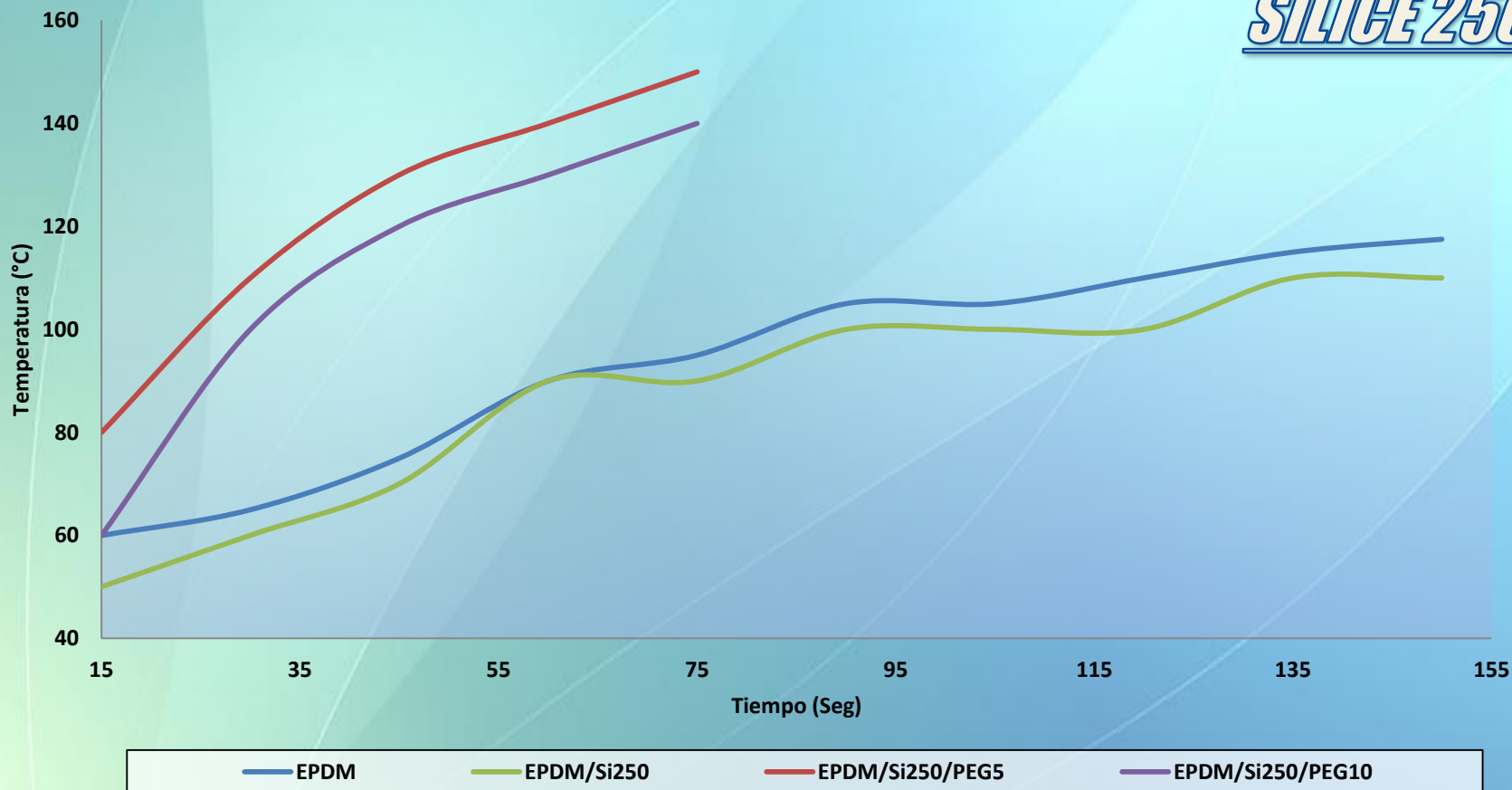
— EPDM/Si150/PEG10



## - FORMULACIONES PEG

### Variación de la temperatura en la 1ra etapa de mezclado

SÍLICE 250



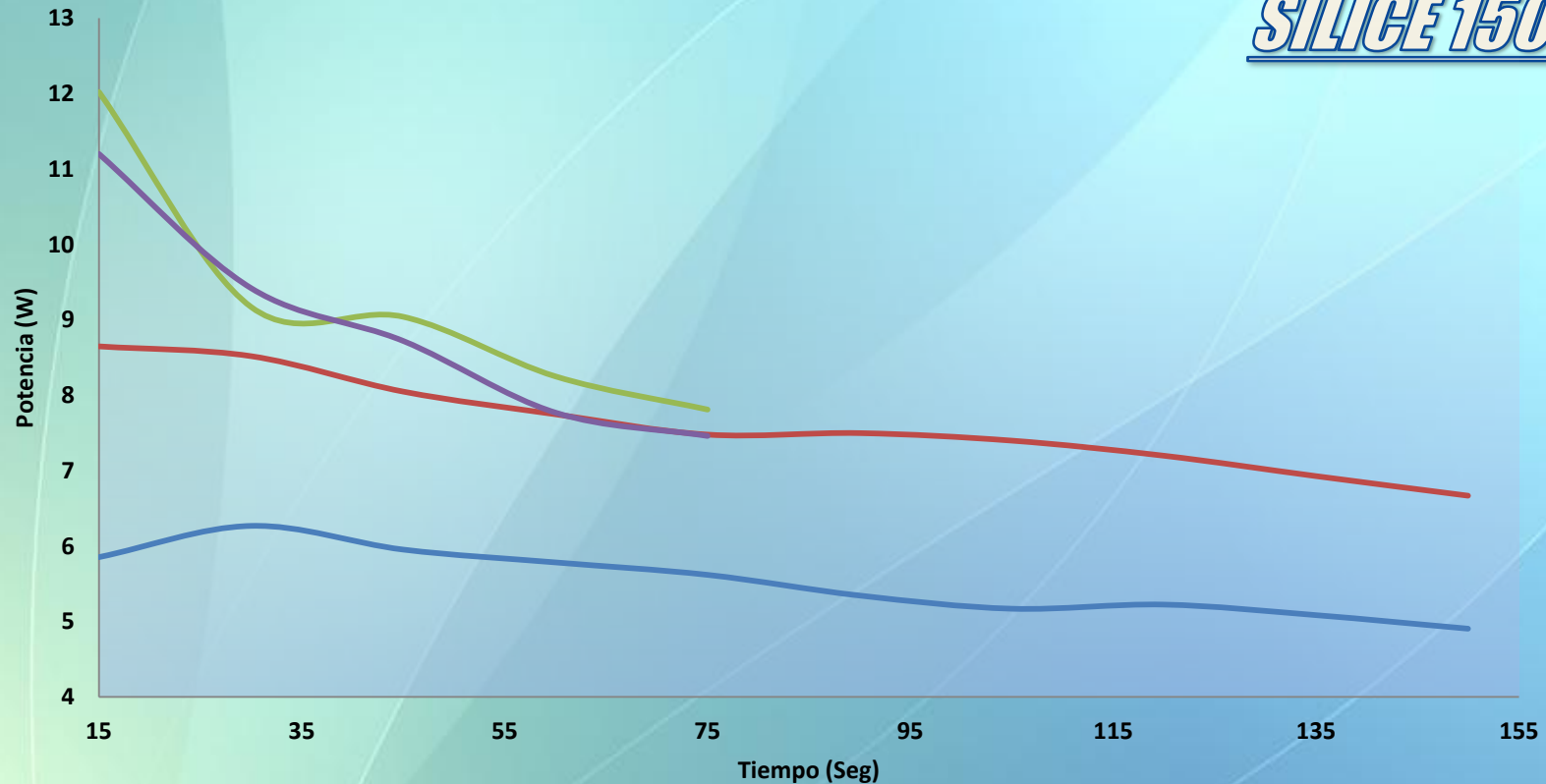




## - FORMULACIONES PEG

### Variación de la potencia en la 1ra etapa de mezclado

SÍLICE 150



EPDM

EPDM/Si150

EPDM/Si150/PEG5

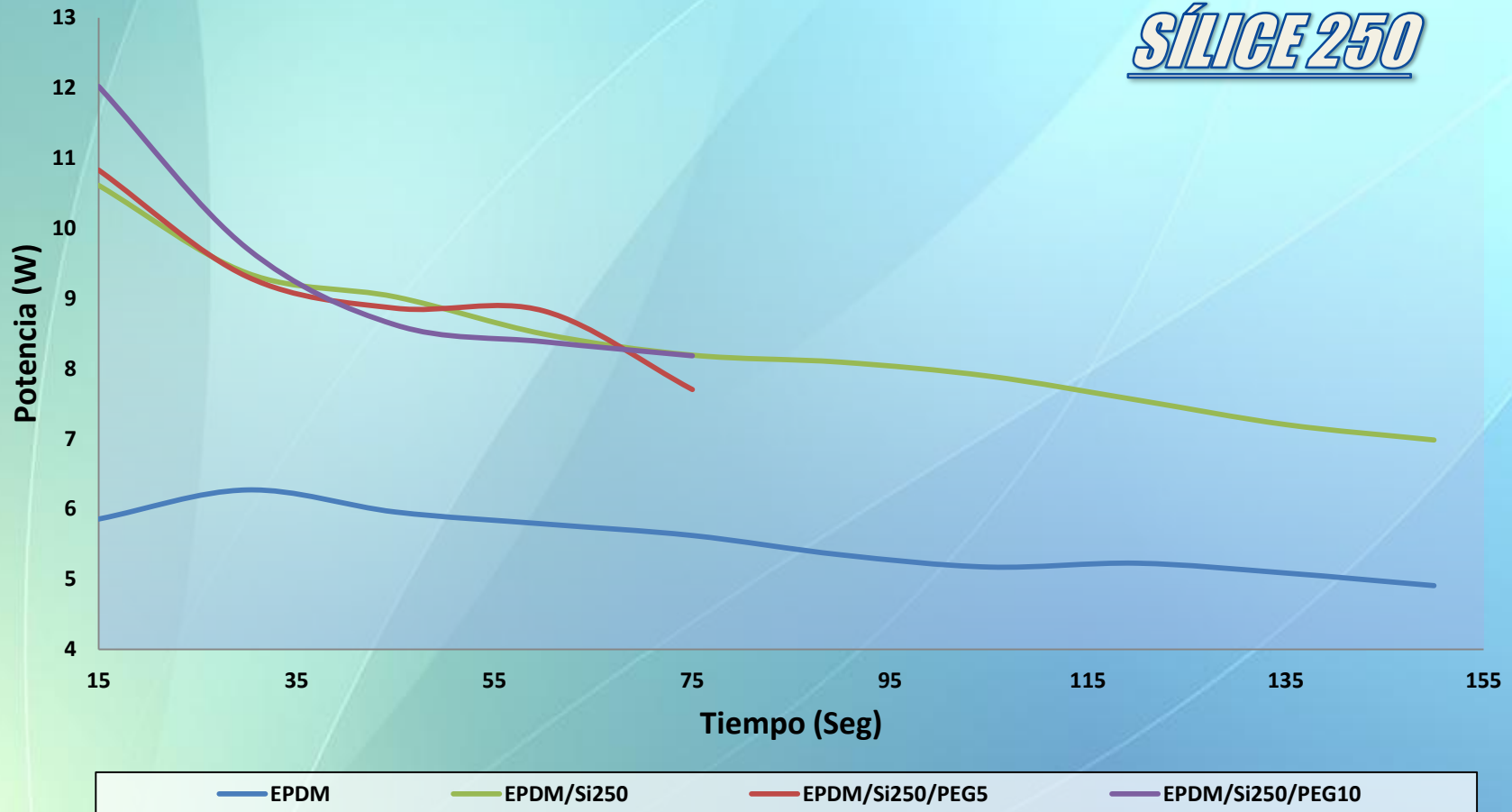
EPDM/Si150/PEG10



## - FORMULACIONES PEG

### Variación de la potencia en la 1ra etapa de mezclado

SÍLICE 250





***Tipos de tratamiento de compatibilización***



***Formulación y Mezclado***



***Pruebas Reométricas***



***Vulcanización por compresión***



## Reometría y Vulcanización

### VULCÁMETRO



Muestra de la  
banda  
Vulcanizada

Temperatura  
170 °C

la banda

Oscilación  
0,5 °

Tiempo de la  
prueba  
20 min

### Curvas de Curado

Torque Mínimo

Torque Máximo

Tiempo Scorch

Índice de Curado

Tiempo de Curado ( $t_{90}$ )



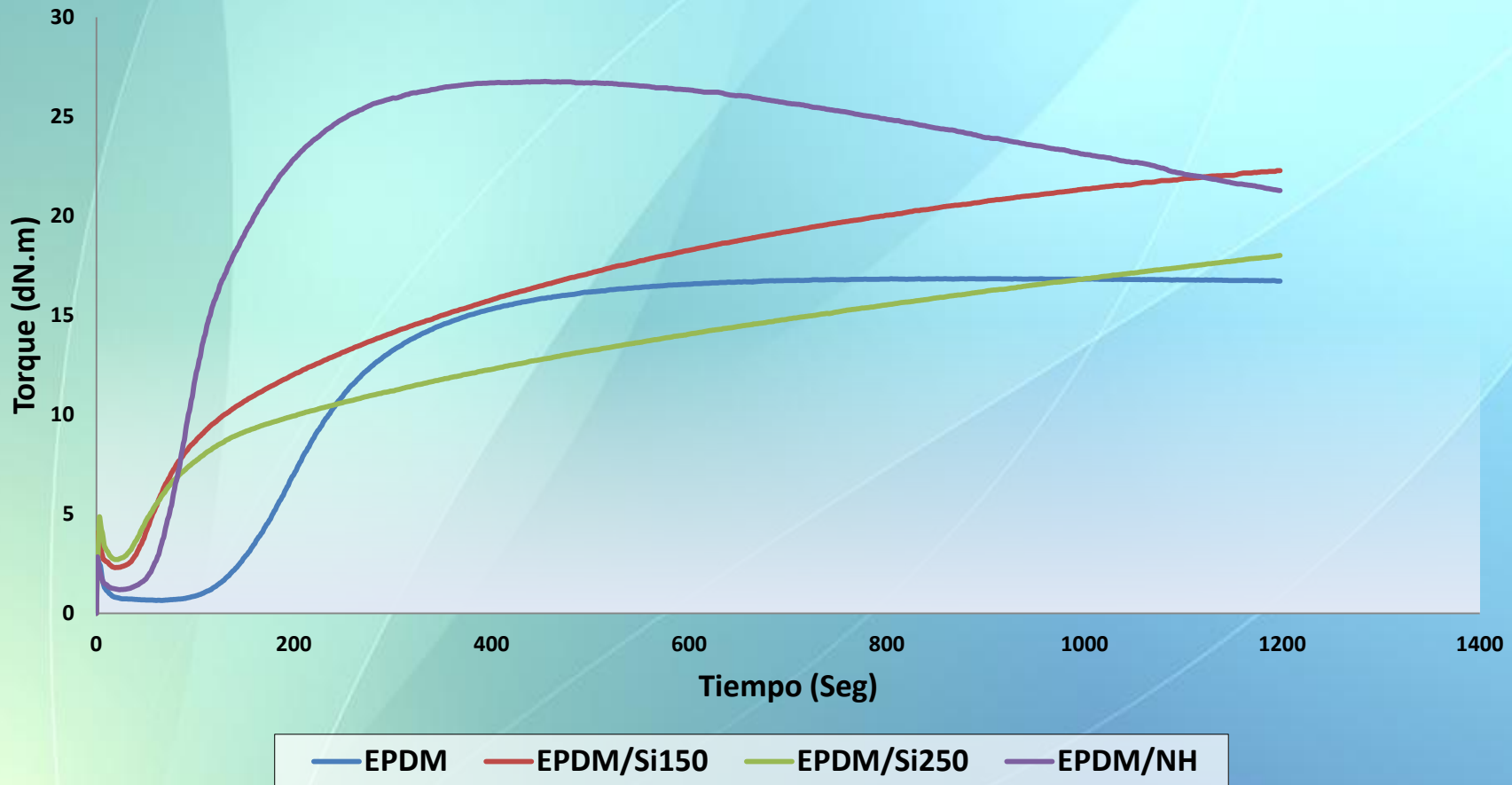


# REOMETRÍA Y VULCANIZACIÓN

## - FORMULACIONES BASE

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curva de curado:



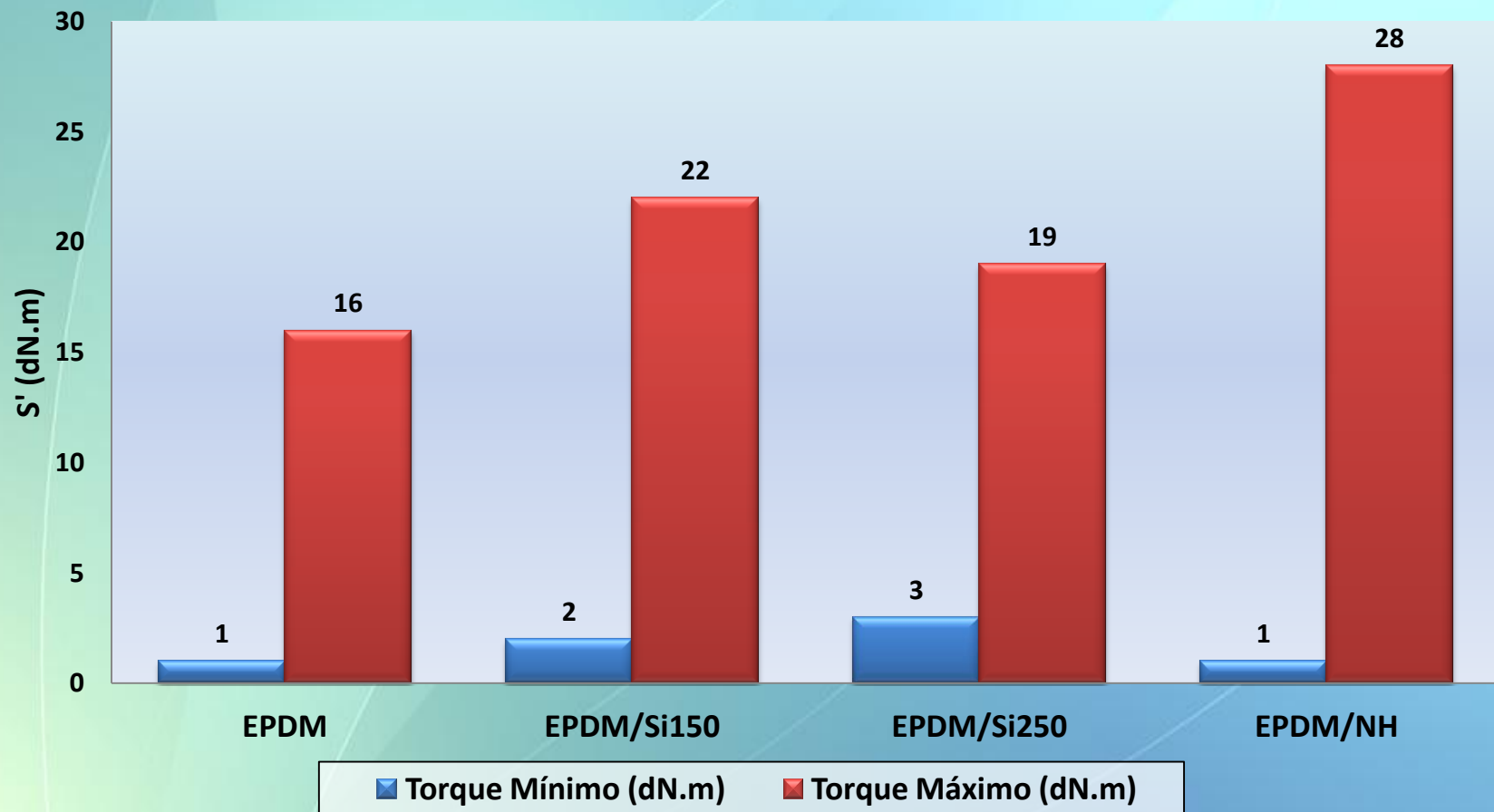


# REOMETRÍA Y VULCANIZACIÓN

## - FORMULACIONES BASE

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Torque mínimo y torque máximo:

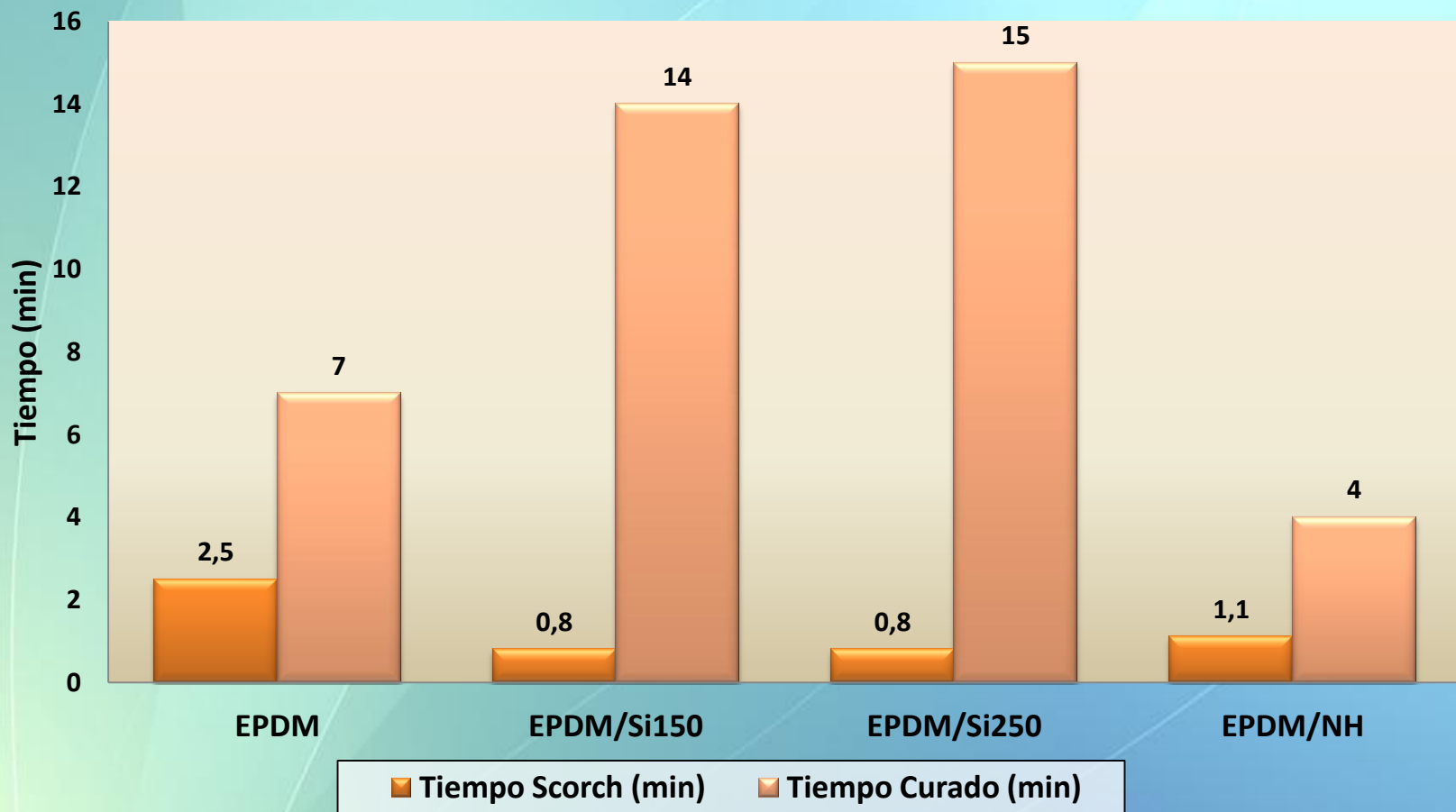




## - FORMULACIONES BASE

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tiempo scorch y tiempo de curado:



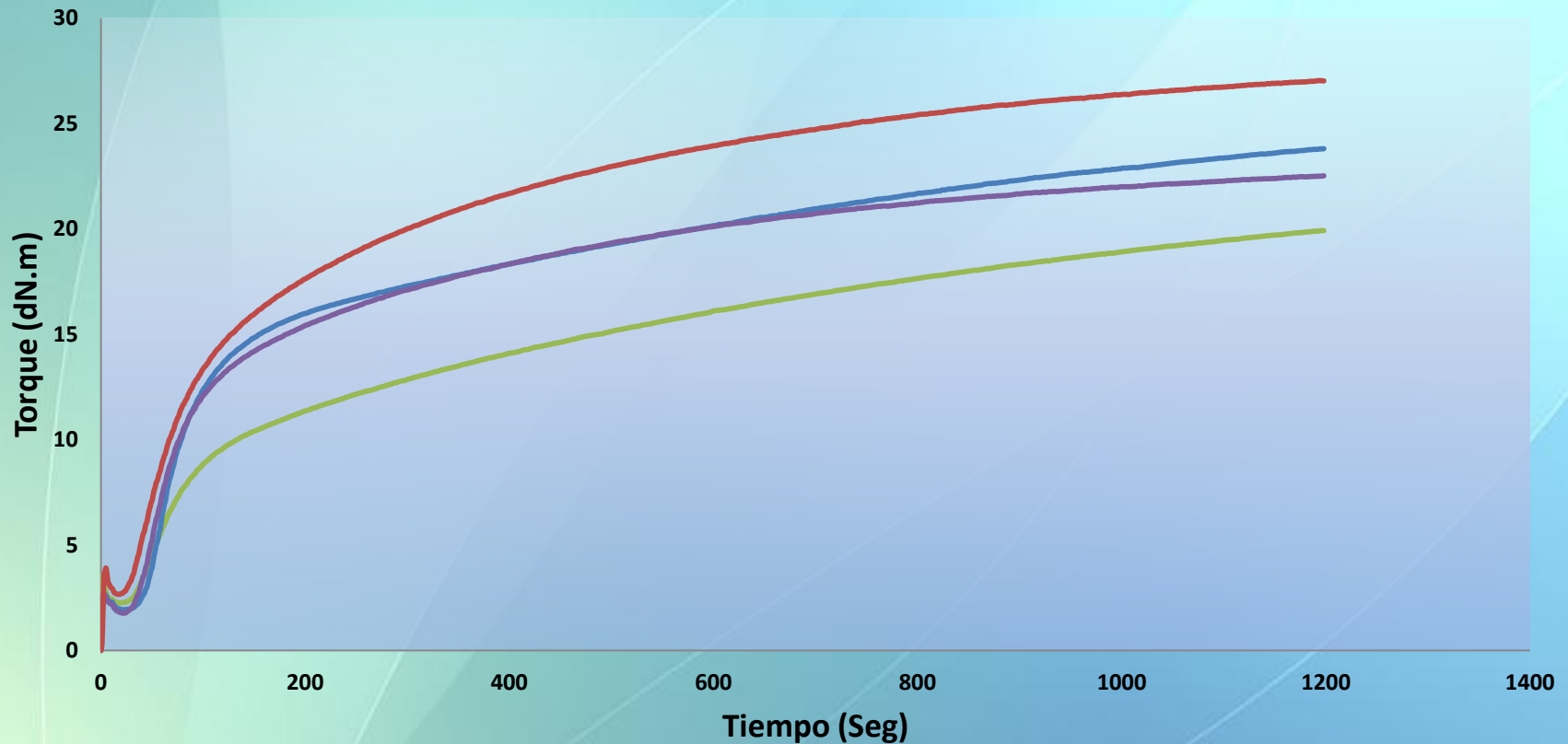


# REOMETRÍA Y VULCANIZACIÓN

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES EPDM FUN

#### Curva de curado



— EPDM/Si150

— EPDM/Si150/Fun10

— EPDM/Si150/Fun20

— EPDM/Si150/Fun30





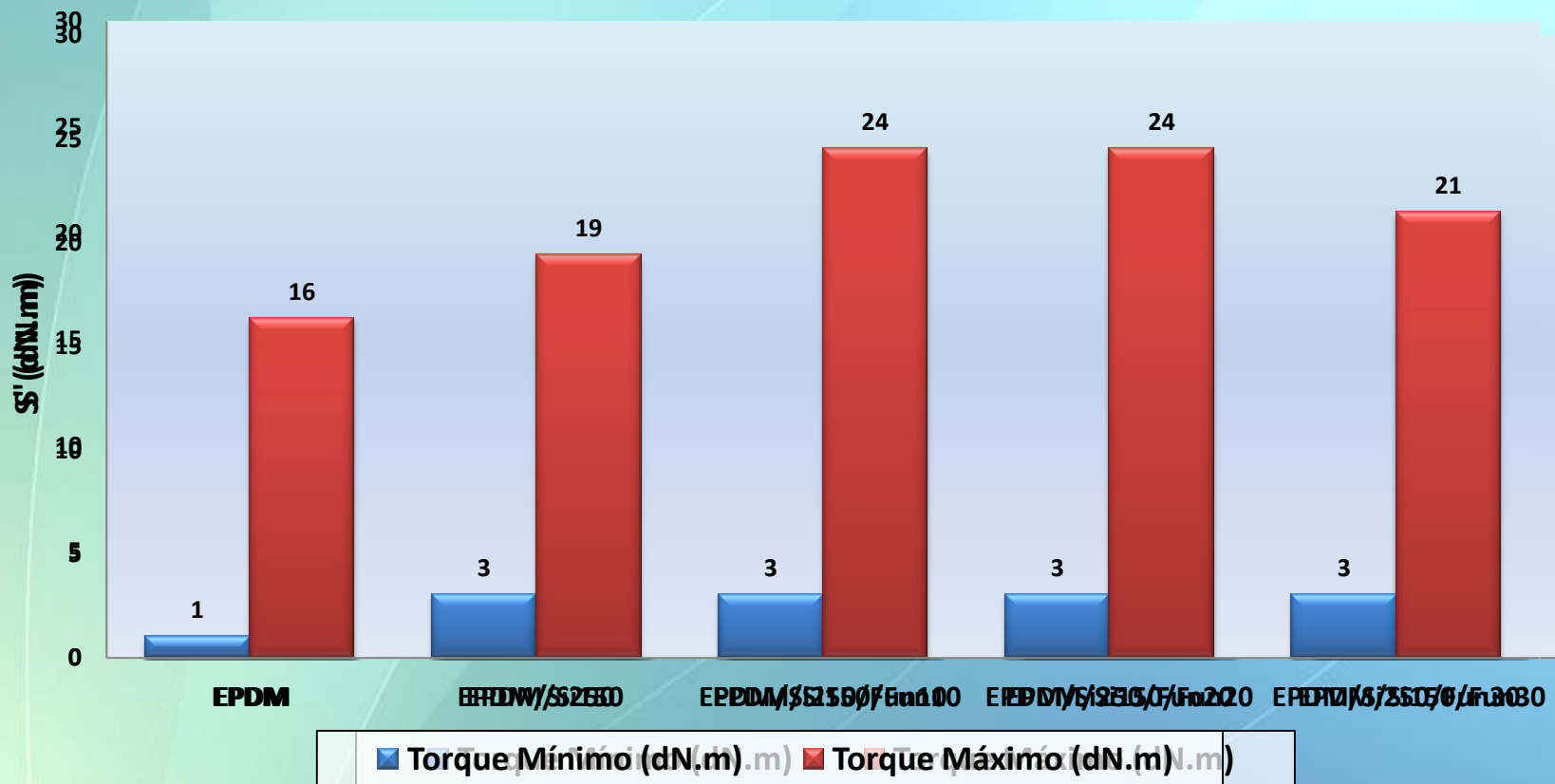
# REOMETRÍA Y VULCANIZACIÓN

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES EPDM FUN

Torque mínimo y torque máximo:

SÍLICE 250





# REOMETRÍA Y VULCANIZACIÓN

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES EPDM FUN

Tiempo de inducción y tiempo de curado:

SÍLICE 250



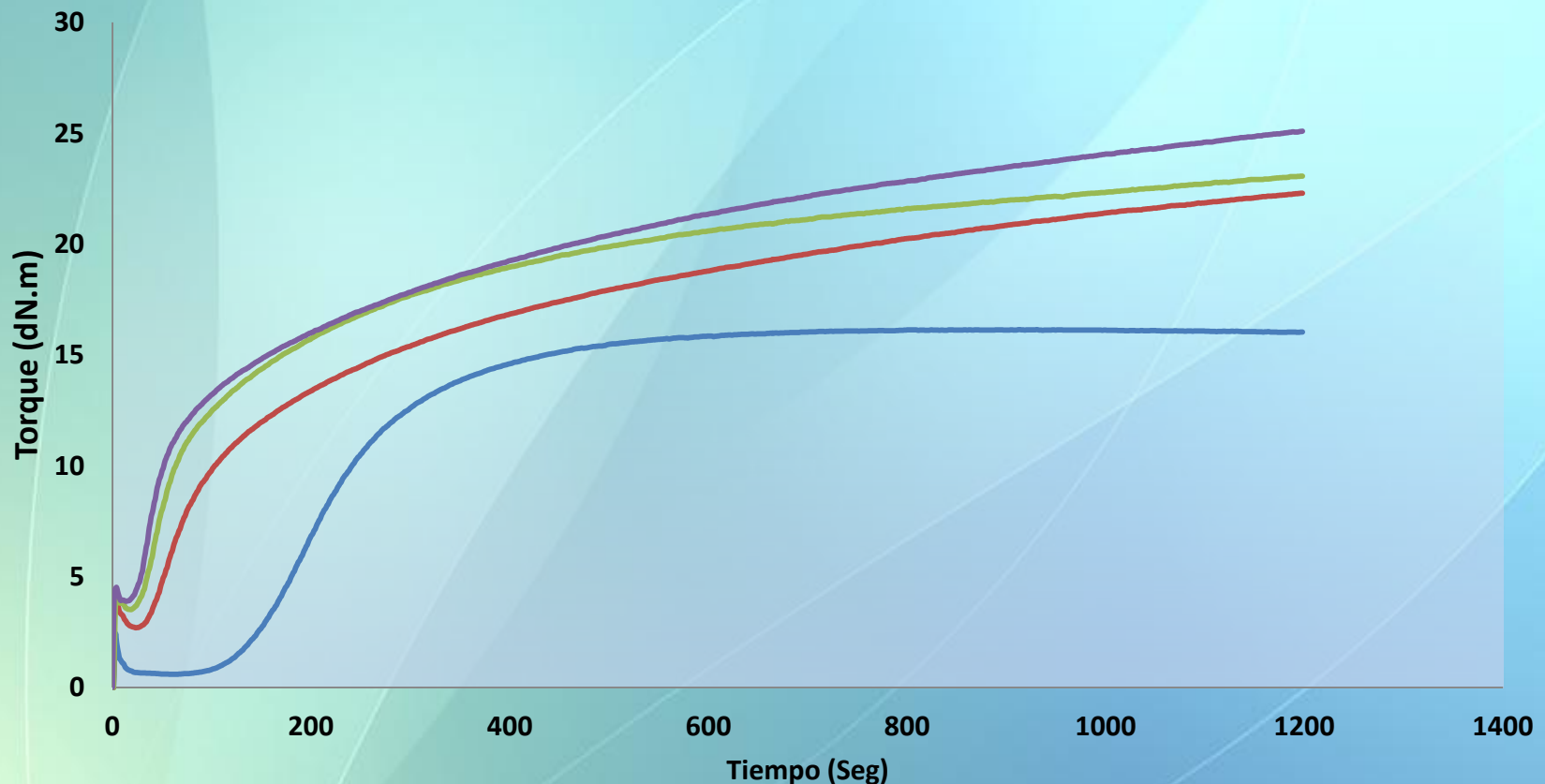


# REOMETRÍA Y VULCANIZACIÓN

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES SILANO

#### Curva de curado





# REOMETRÍA Y VULCANIZACIÓN

## - FORMULACIONES SILANO

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades Reométricas:

	EPDM	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
SIL (ppc)	0	0	5	10	0	5	10
S' min (dN.m)	0,6	2,5	3,3	4,1	2,7	4,2	4,7
S' máx (dN.m)	16,1	22,3	23,1	25,1	17,7	23	23,6
ts (min)	2,5	0,9	0,6	0,6	0,9	0,5	0,5
tc <sub>90</sub> (min)	7	14	11	13	15	12	13

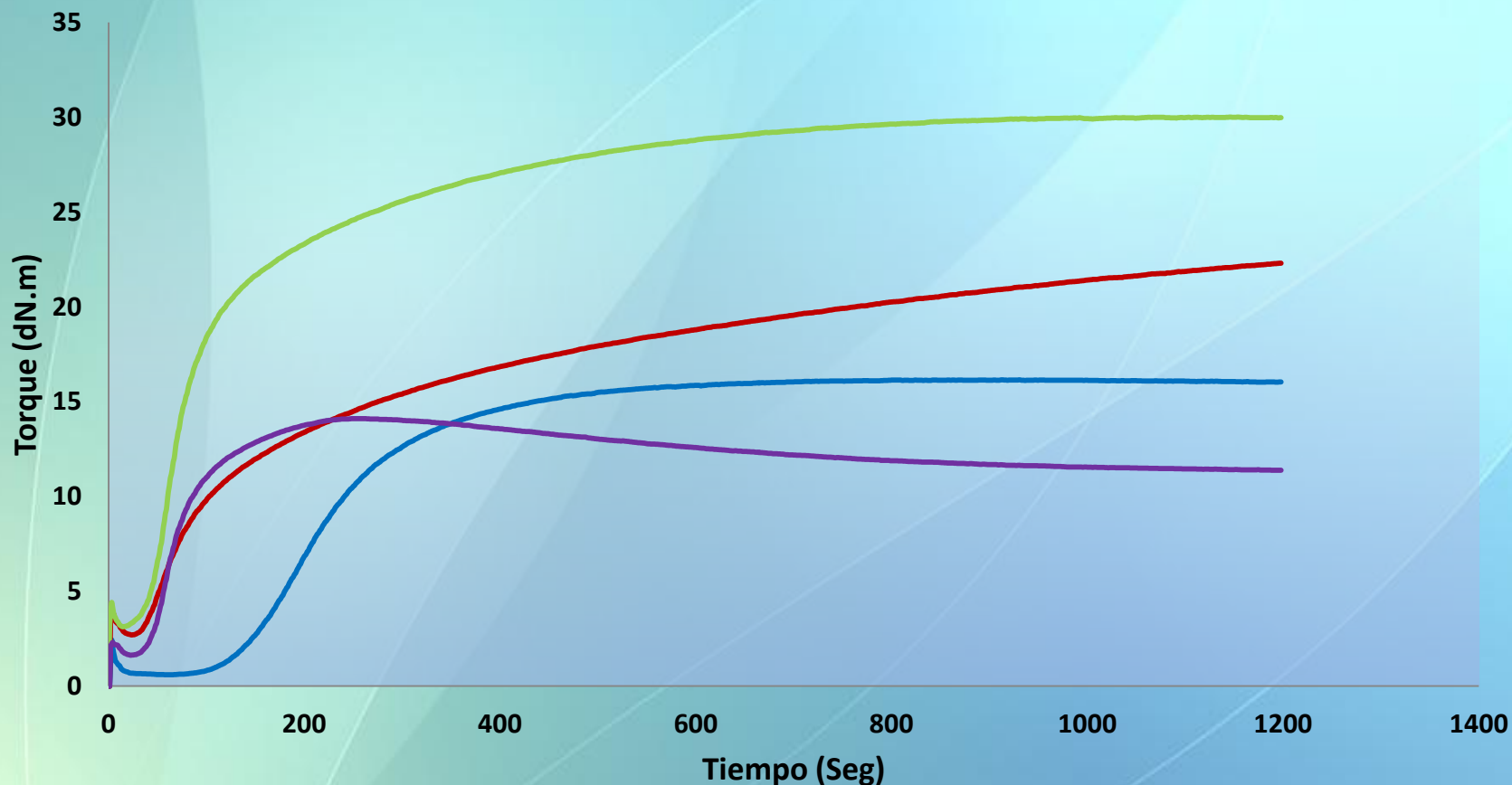




## - FORMULACIONES PEG

### Curva de curado

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN





## - FORMULACIONES PEG

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades Reométricas

	EPDM	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
PEG (ppc)	0	0	5	10	0	5	10
S' min (dN.m)	0,6	2,5	3	2	2,7	4	2
S' máx (dN.m)	16,1	22,3	26	16	17,7	27	18
ts (min)	2,5	0,9	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7
tc <sub>90</sub> (min)	7	14	8	2	15	8	3



***Tipos de tratamiento de compatibilización***



***Formulación y Mezclado***



***Pruebas Reométricas***



***Vulcanización por compresión***



***Pruebas Mecánicas***

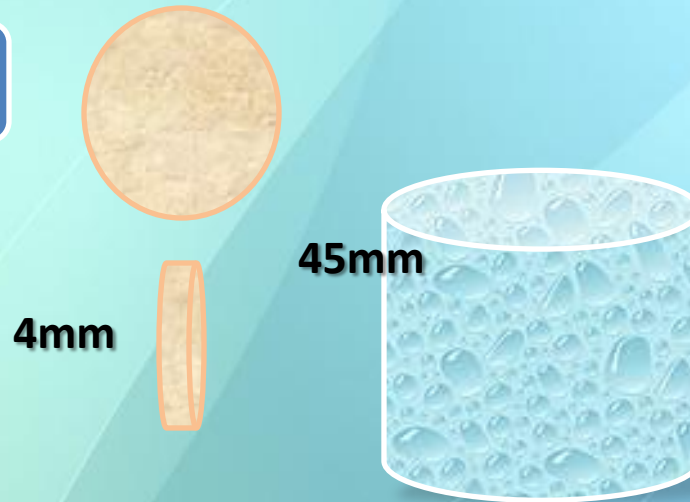


## Hinchamiento y Densidad de Entrecruzamiento

**PROBETA**

MASA INICIAL

TIEMPO  
48 horas



**MIDE**

MASA FINAL

% DE HINCHAMIENTO

**Solución 1:1  
Heptano-Tolueno**





## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Hinchamiento y Densidad de Entrecruzamiento*

#### **- FORMULACIONES BASE**

Formulación	Hinchamiento (%)	Densidad de entrecruzamiento (mol/g)x10 <sup>4</sup>
EPDM	190	3,448
EPDM/Si150	235	1,294
EPDM/Si250	309	0,786
EPDM/NH	124	4,191



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Hinchamiento y Densidad de Entrecruzamiento

#### **- FORMULACIONES EPDM FUN**

EPDM FUN (ppc)	EPDM/Si150				EPDM/Si250			
	0	10	20	30	0	10	20	30
Hinchamiento (%) (m/m)	235	280	185	204	309	200	221	279
Densidad de entrecruzamiento (mol/g)x10 <sup>4</sup>	1,294 ± 0,002	0,950 ± 0,001	2,007 ± 0,002	1,677 ± 0,001	0,786 ± 0,002	1,804 ± 0,001	1,500 ± 0,002	0,928 ± 0,001



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Hinchamiento y Densidad de Entrecruzamiento*

#### **- FORMULACIONES SILANO**

	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
SIL (ppc)	0	5	10	0	5	10
Hinchamiento (%) (m/m)	235	209	188	309	231	205
Densidad de entrecruzamiento (mol/g)x10 <sup>4</sup>	1,294 ± 0,002	1,556 ± 0,002	1,864 ± 0,001	0,786 ± 0,002	1,281 ± 0,001	1,559 ± 0,001



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Hinchamiento y Densidad de Entrecruzamiento*

#### **- FORMULACIONES PEG**

	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
PEG (ppc)	0	5	10	0	5	10
Hinchamiento (%) (m/m)	235	192	255	309	196	229
Densidad de entrecruzamiento (mol/g)x10 <sup>4</sup>	1,294 ± 0,002	1,836 ± 0,002	1,056 ± 0,001	0,786 ± 0,002	1,766 ± 0,002	1,284 ± 0,001





## Pruebas Mecánicas

### Ensayo de Tracción

## MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES

### MIDE

DEFORMACIÓN (%)

ESFUERZO (Mpa)

### PROBETA

MÓDULO 100 %

MÓDULO 300%

Tipo C  
RUPTURA

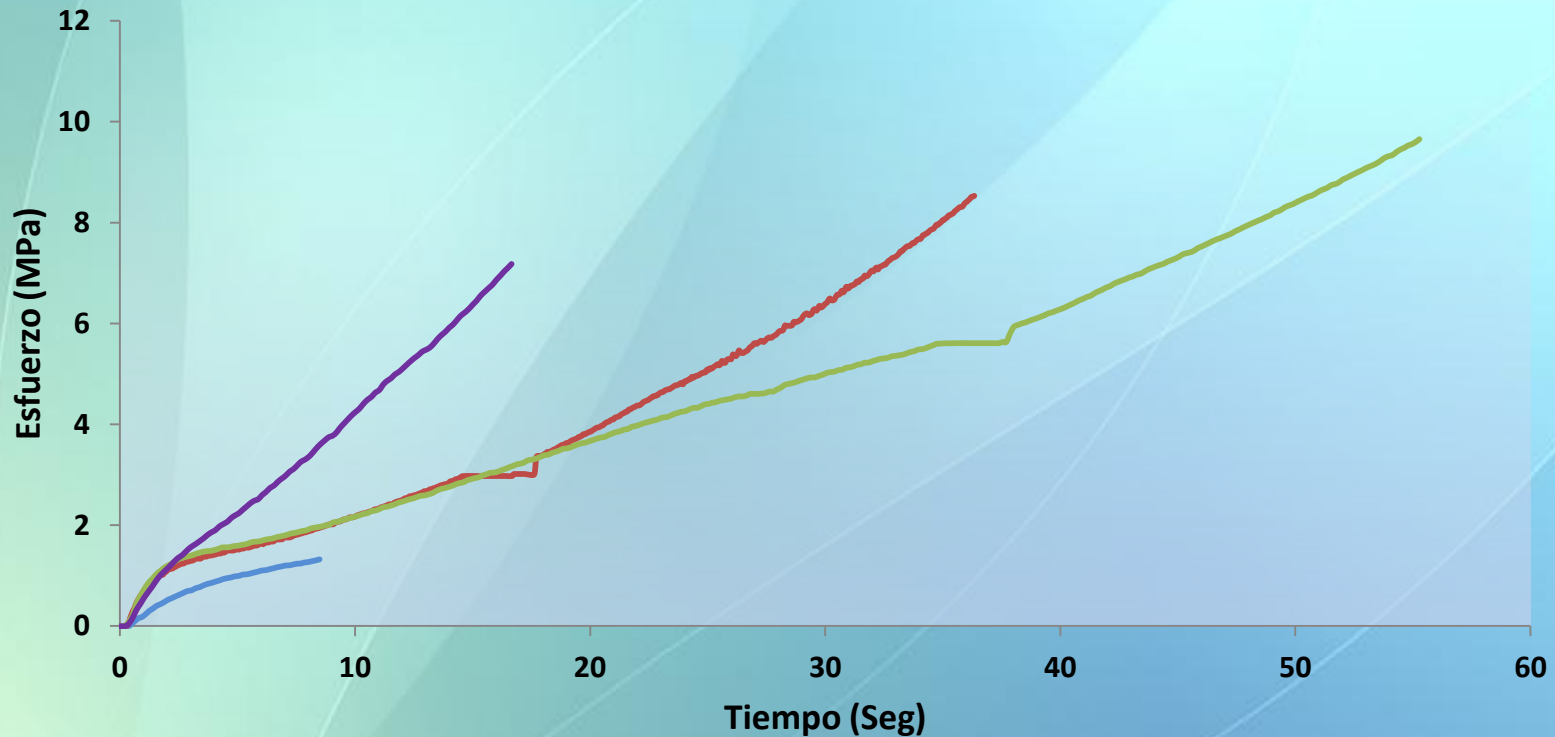




## Ensayo de Tracción

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES BASE



— EPDM — EPDM/Si150 — EPDM/Si250 — EPDM/NH



## Ensayo de Tracción

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## **- FORMULACIONES BASE**

### Propiedades Tensiles en las formulaciones base

FORMULACIÓN	MÓDULO 100%	MÓDULO 300%	RUPTURA	
	<i>Esfuerzo (MPa)</i>	<i>Esfuerzo (MPa)</i>	<i>Esfuerzo (MPa)</i>	<i>Deformación (%)</i>
EPDM	$1 \pm 0,03$	---	$1 \pm 0,09$	$106 \pm 2$
EPDM/Si150	$2 \pm 0,05$	$5 \pm 0,1$	$9 \pm 0,6$	$455 \pm 28$
EPDM/Si250	$2 \pm 0,06$	$4 \pm 0,1$	$10 \pm 0,4$	$686 \pm 51$
EPDM/NH	$3 \pm 0,2$	---	$7 \pm 0,6$	$206 \pm 8$

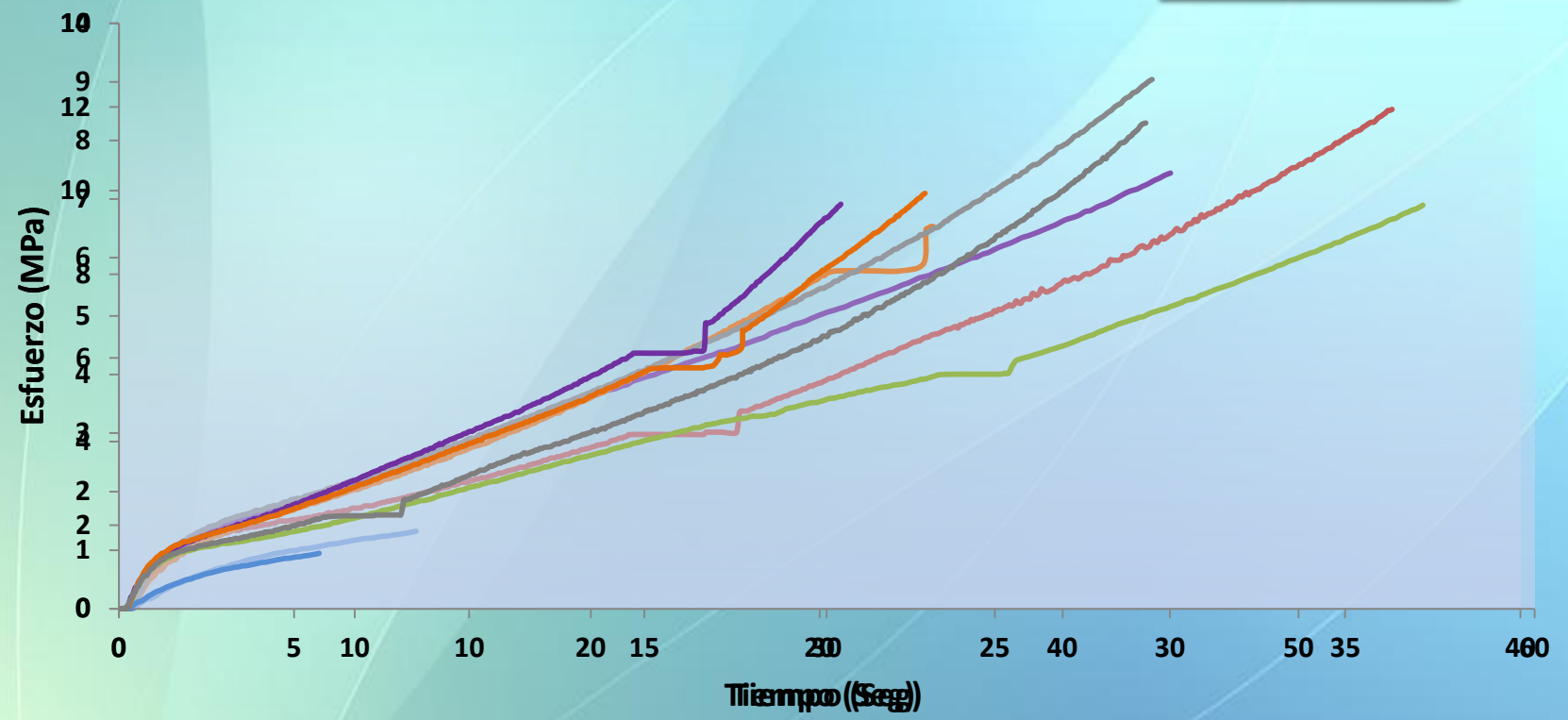


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ensayo de Tracción

### **- FORMULACIONES EPDM FUN**

SÍLICE 250







## Ensayo de Tracción

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES EPDM FUN

### Propiedades Tensiles en las formulaciones EPDM FUN

	EPDM	EPDM/Si150				EPDM/Si250			
EPDM FUN (ppc)	0	0	10	20	30	0	10	20	30
$\sigma_{100}$ (MPa)	1 ± 0,03	2 ± 0,05	2 ± 0,10	2 ± 0,05	2 ± 0,07	2 ± 0,06	3 ± 0,19	3 ± 0,15	2 ± 0,03
$\sigma_{300}$ (MPa)	-	5 ± 0,1	6 ± 0,5	-	6 ± 0,3	4 ± 0,1	7 ± 0,4	6 ± 0,4	5 ± 0,1
$\sigma_R$ (MPa)	1 ± 0,1	9 ± 0,6	7 ± 0,7	6 ± 0,6	9 ± 0,8	10 ± 0,4	10 ± 0,7	10 ± 0,6	12 ± 0,2
$\epsilon_R$ (%)	106 ± 2	455 ± 28	266 ± 14	400 ± 31	391 ± 23	686 ± 51	391 ± 23	422 ± 10	546 ± 14

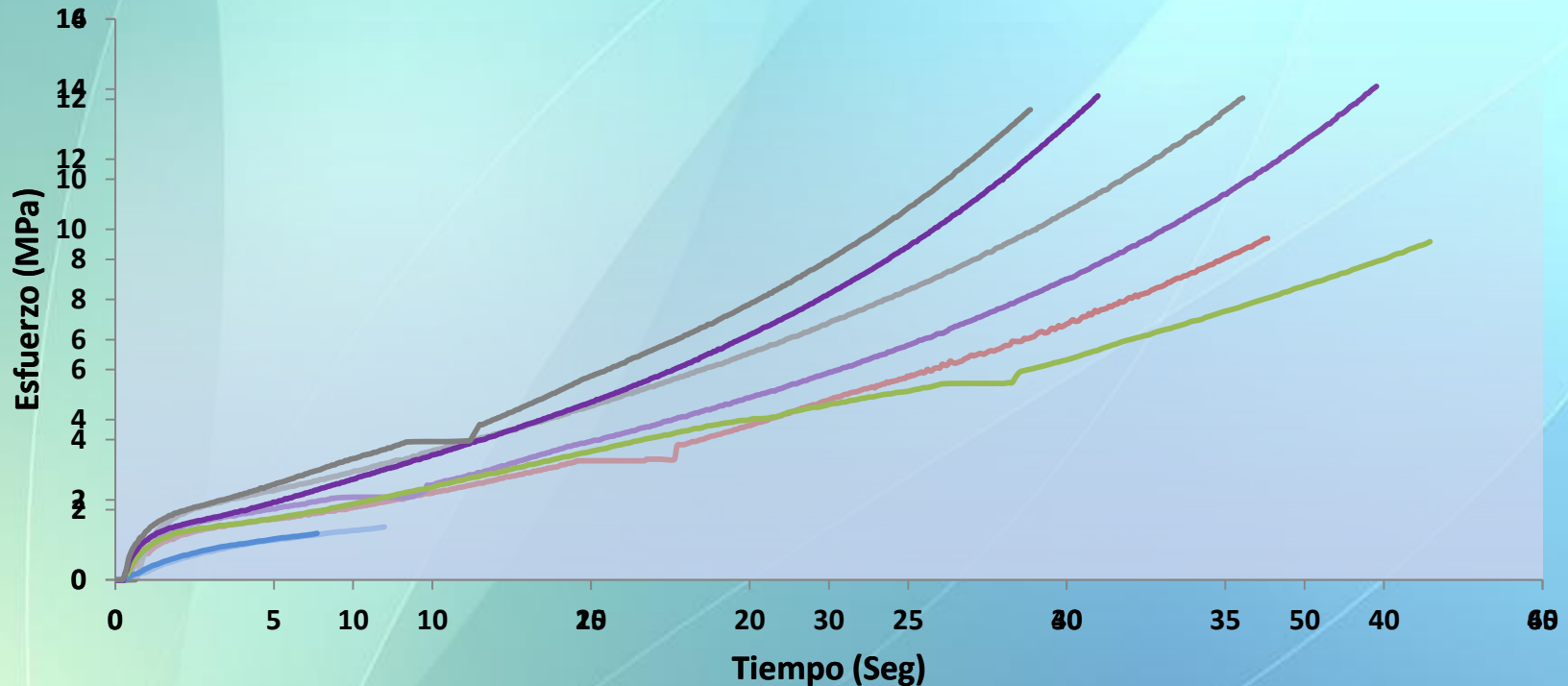


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ensayo de Tracción

### **- FORMULACIONES SILANO**

SÍLICE 250





## Ensayo de Tracción

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES SILANO

### Propiedades Tensiles en las formulaciones SILANO

	EPDM	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
SIL (ppc)	0	0	5	10	0	5	10
$\sigma_{100}$ (MPa)	1 ± 0,03	2 ± 0,05	2 ± 0,06	3 ± 0,1	2 ± 0,06	3 ± 0,06	3 ± 0,06
$\sigma_{300}$ (MPa)	-	5 ± 0,1	6 ± 0,1	7 ± 0,3	4 ± 0,1	6 ± 0,1	7 ± 0,1
$\sigma_R$ (MPa)	1 ± 0,1	9 ± 0,6	12 ± 1	12 ± 1	10 ± 0,4	14 ± 1	13 ± 1
$\epsilon_R$ (%)	106 ± 2	455 ± 28	502 ± 22	441 ± 34	686 ± 51	541 ± 26	479 ± 19

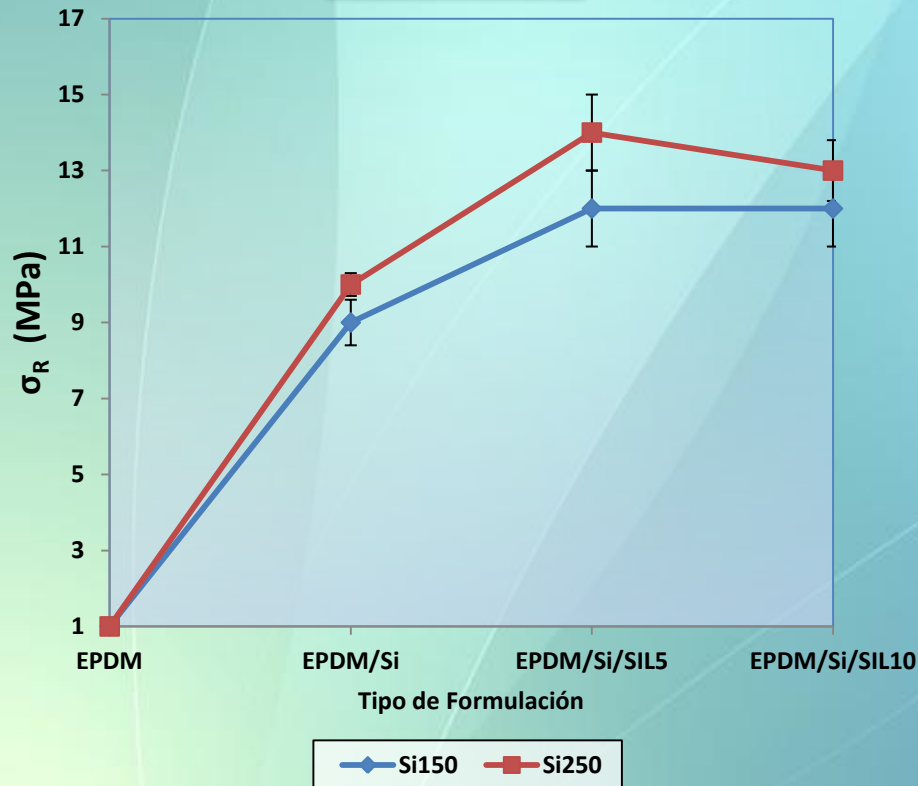


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

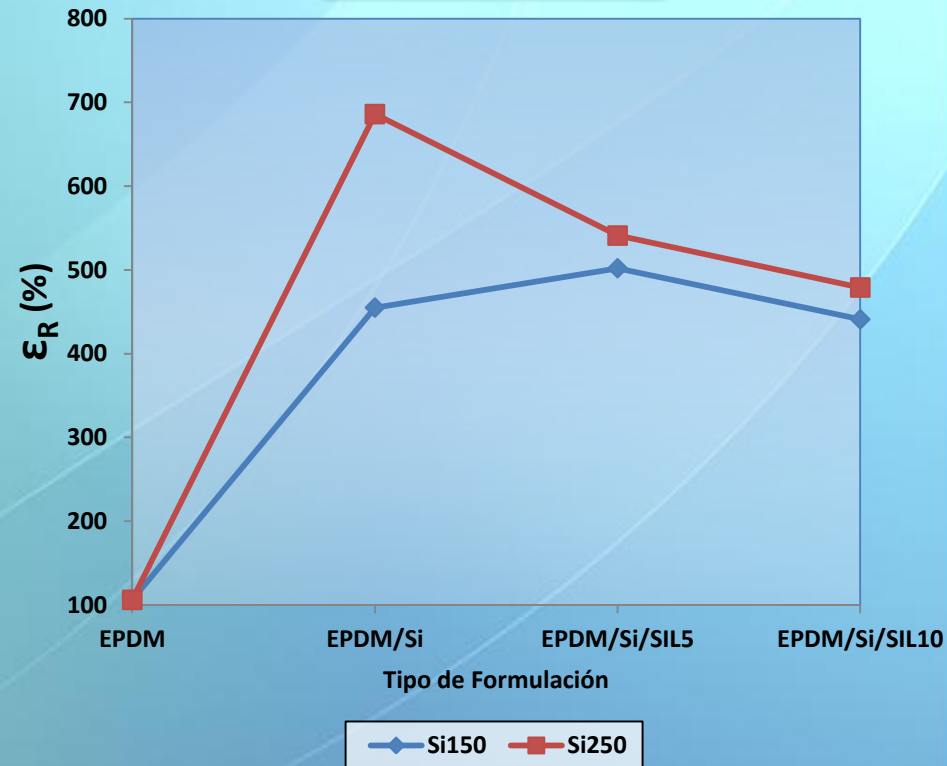
### Ensayo de Tracción

### **- FORMULACIONES SILANO**

#### Esfuerzo



#### Elongación





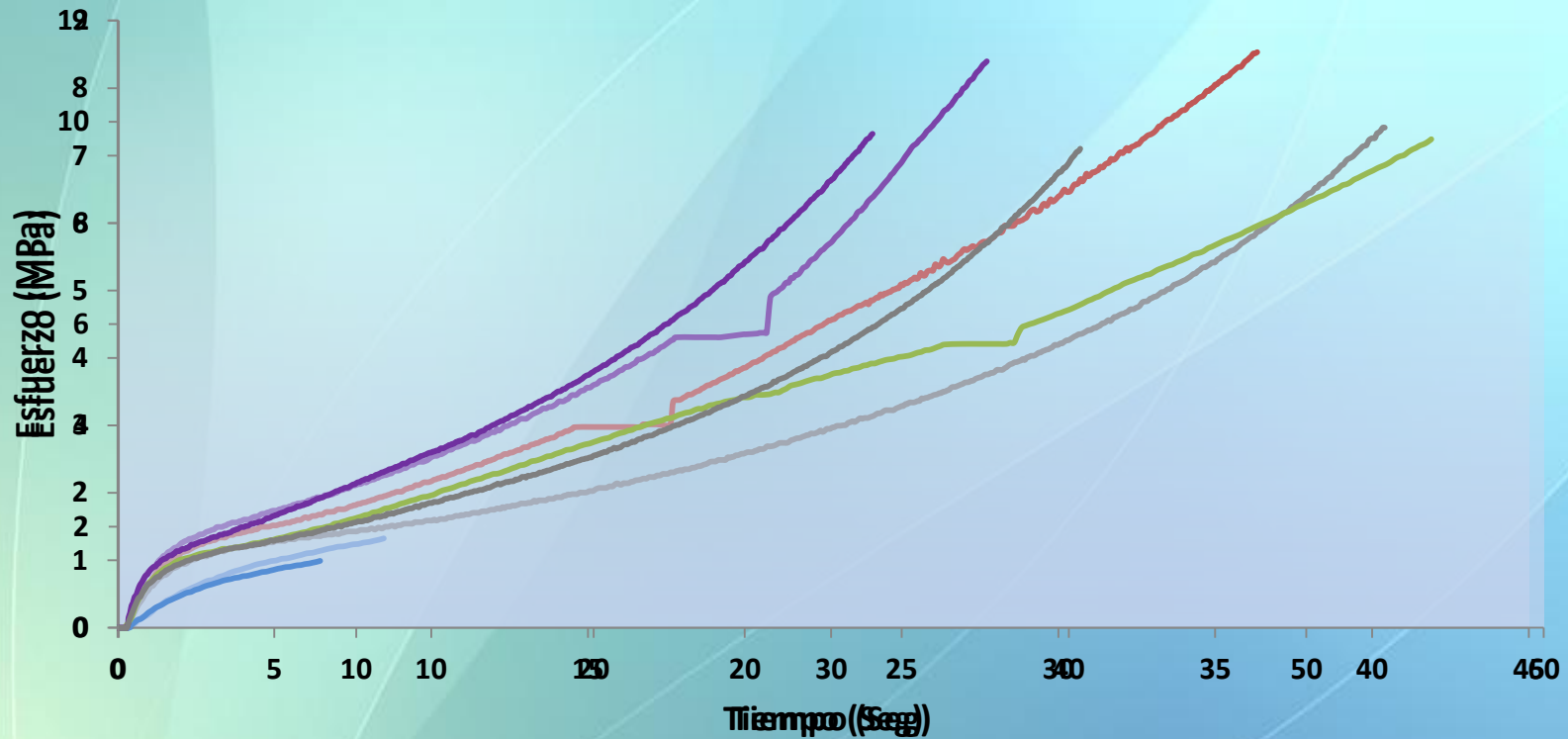


## Ensayo de Tracción

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **- FORMULACIONES PEG**

**SÍLICE 250**





## Ensayo de Tracción

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES PEG

### Propiedades Tensiles en las formulaciones PEG

	EPDM	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
PEG (ppc)	0	0	5	10	0	5	10
$\sigma_{100}$ (MPa)	1 ± 0,03	2 ± 0,05	3 ± 0,06	2 ± 0,04	2 ± 0,06	3 ± 0,10	2 ± 0,02
$\sigma_{300}$ (MPa)	-	5 ± 0,1	8 ± 0,1	4 ± 0,1	4 ± 0,1	9 ± 0,3	6 ± 0,1
$\sigma_R$ (MPa)	1 ± 0,1	9 ± 0,6	9 ± 0,4	8 ± 0,8	10 ± 0,4	11 ± 0,8	10 ± 0,4
$\epsilon_R$ (%)	106 ± 2	455 ± 28	326 ± 10	425 ± 37	686 ± 51	338 ± 17	420 ± 5

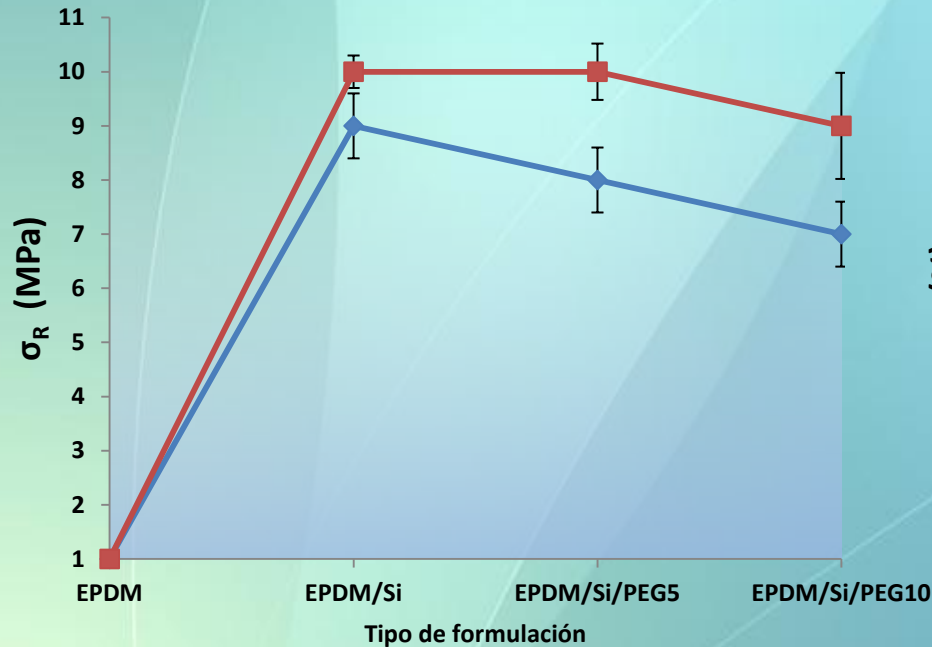


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ensayo de Tracción

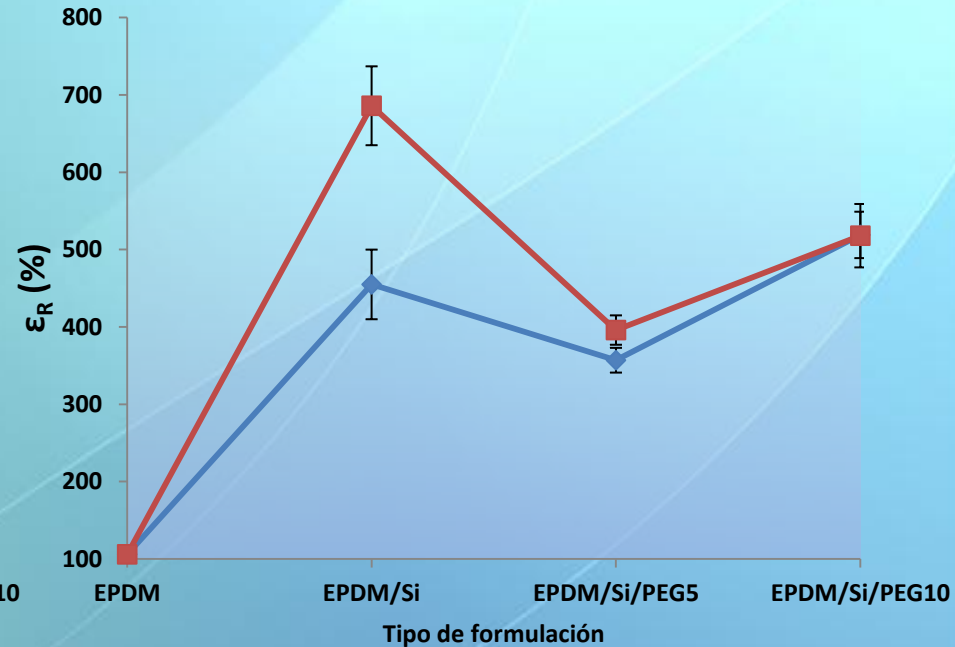
### **- FORMULACIONES PEG**

#### Esfuerzo



◆ Si150 ■ Si250

#### Elongación



◆ Si150 ■ Si250



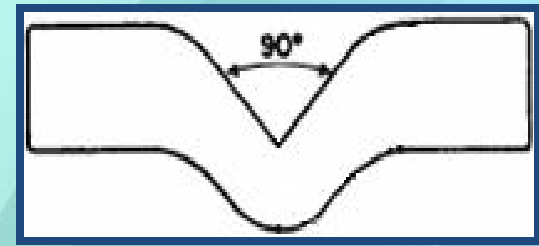
## *Pruebas Mecánicas* *Resistencia al Desgarre y Dureza*

### MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES

MIDE

RESISTENCIA AL  
DESGARRE (N/mm)

PROBETA







## *Pruebas Mecánicas* *Resistencia al Desgarre y Dureza*

### DURÓMETRO SHORE A

MIDE

GRADO DE  
DUREZA

PROBETA





## Resistencia al Desgarre y Dureza

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES BASE

### Resistencia al Desgarre y Dureza para formulaciones base

FORMULACIÓN	EPDM	EPDM/Si150	EPDM/Si250	EPDM/NH
RD (N/mm)	10 ± 1	46 ± 3	52 ± 2	33 ± 2
Dureza (Shore A)	56 ± 1	61 ± 1	63 ± 1	66 ± 1



## Resistencia al Desgarre y Dureza

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES EPDM FUN

### Resistencia al Desgarre y Dureza formulaciones EPDM FUN

	EPDM	EPDM/Si150				EPDM/Si250			
EPDM FUN (ppc)	0	0	10	20	30	0	10	20	30
RD (N/mm)	10 ± 1	46 ± 3	40 ± 2	43 ± 2	51 ± 2	52 ± 2	50 ± 3	51 ± 3	51 ± 2
Dureza (Shore A)	56 ± 1	61 ± 1	67 ± 1	63 ± 1	63 ± 1	63 ± 1	67 ± 1	67 ± 1	64 ± 1



## Resistencia al Desgarre y Dureza

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES SILANO

### Resistencia al Desgarre y Dureza formulaciones SILANO

	EPDM	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
SIL (ppc)	0	0	5	10	0	5	10
RD (N/mm)	10 ± 1	46 ± 3	53 ± 3	54 ± 2	52 ± 2	57 ± 2	60 ± 3
Dureza (Shore A)	56 ± 1	61 ± 1	69 ± 1	72 ± 1	63 ± 1	69 ± 1	72 ± 1





## Resistencia al Desgarre y Dureza

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES PEG

### Resistencia al Desgarre y Dureza formulaciones PEG

	EPDM	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
PEG (ppc)	0	0	5	10	0	5	10
RD (N/mm)	10 ± 1	46 ± 3	40 ± 2	34 ± 1	52 ± 2	51 ± 2	44 ± 2
Dureza (Shore A)	56 ± 1	61 ± 1	66 ± 1	59 ± 1	63 ± 1	70 ± 1	63 ± 1



## *Pruebas Mecánicas*

### *Pruebas de abrasión*

## ABRASÍMETRO

**MIDE**

VOLUMEN  
ABRADIDO (m<sup>3</sup>)

**PROBETA**





## Pruebas de abrasión

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES BASE

### Pérdida volumétrica por abrasión para formulaciones base

Formulación	Volumen Abradido (cm <sup>3</sup> )
EPDM	0,40 ± 0,01
EPDM/Si150	0,13 ± 0,02
EPDM/Si250	0,13 ± 0,02
EPDM/NH	0,20 ± 0,01



## Pruebas de abrasión

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES EPDM FUN

### Pérdida volumétrica por abrasión para formulaciones EPDM FUN

	EPDM	EPDM/Si150				EPDM/Si250			
EPDM FUN (ppc)	0	0	10	20	30	0	10	20	30
V.P.A. (cm <sup>3</sup> )	0,40 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,11 ± 0,01





## Pruebas de abrasión

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES SILANO

### Pérdida volumétrica por abrasión para formulaciones SILANO

	EPDM	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
SIL (ppc)	0	0	5	10	0	5	10
V.P.A. (cm <sup>3</sup> )	0,40 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,18 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,14 ± 0,01



## Pruebas de abrasión

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - FORMULACIONES PEG

### Pérdida volumétrica por abrasión para formulaciones PEG

	EPDM	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
PEG (ppc)	0	0	5	10	0	5	10
V.P.A. (cm <sup>3</sup> )	0,40 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,17 ± 0,01



## Envejecimiento acelerado por calor



**HORNO DE  
CONVECCIÓN  
FORZADA**

**TEMPERATURA  
70 °C**

**TIEMPO  
70 horas**

**PROBETA**



Tipo C



**A PRUEBAS DE  
TRACCIÓN**



### Envejecimiento acelerado por calor

### **- FORMULACIONES BASE**

### Propiedades envejecidas para formulaciones base

FORMULACIÓN	$\Delta\sigma_{100}$ (%)	$\Delta\sigma_{300}$ (%)	$\Delta\sigma_R$ (%)	$\Delta\varepsilon_R$ (%)	$\Delta Shore A (\pm 1)$
EPDM	-100	0	100	-16	1
EPDM/Si150	0	0	11	7	4
EPDM/Si250	0	25	-30	-47	4
EPDM/NH	33	0	0	-27	5





### Envejecimiento acelerado por calor

### **- FORMULACIONES EPDM FUN**

### Propiedades envejecidas para formulaciones EPDM FUN

EPDM FUN (ppc)	EPDM/Si150				EPDM/Si250			
	0	10	20	30	0	10	20	30
$\Delta\sigma_{100}$ (%)	0	50	50	0	0	0	0	0
$\Delta\sigma_{300}$ (%)	0	-100	0	0	25	0	17	20
$\Delta\sigma_R$ (%)	11	-14	0	-22	-30	-20	-30	-8
$\Delta\varepsilon_R$ (%)	7	-34	-3	-19	-47	-19	-24	-17
$\Delta Shore A (\pm 1)$	4	3	4	4	4	4	4	3



### Envejecimiento acelerado por calor

### **- FORMULACIONES SILANO**

### Propiedades envejecidas para formulaciones SILANO

	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
SIL (ppc)	0	5	10	0	5	10
$\Delta\sigma_{100}$ (%)	0	50	0	0	0	33
$\Delta\sigma_{300}$ (%)	0	17	29	25	17	29
$\Delta\sigma_R$ (%)	11	8	0	-30	0	8
$\Delta\varepsilon_R$ (%)	7	-12	-12	-47	-12	-11
$\Delta Shore A (\pm 1)$	4	3	4	4	5	4



### Envejecimiento acelerado por calor

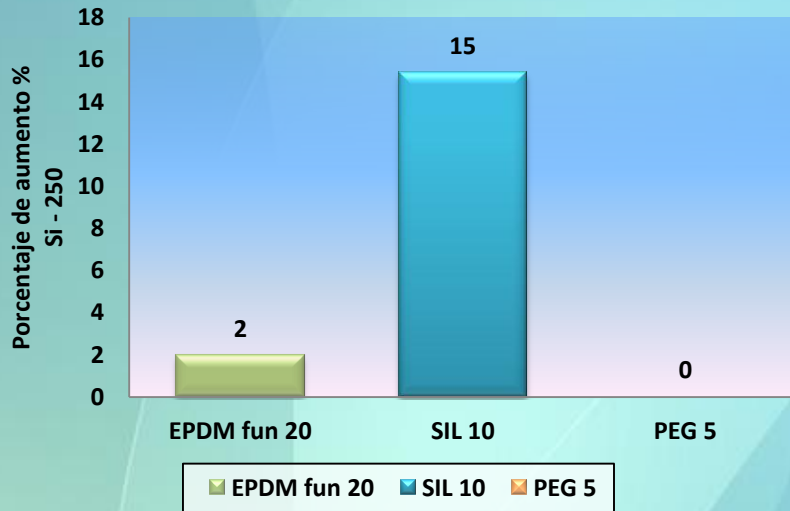
### **- FORMULACIONES PEG**

### Propiedades envejecidas para formulaciones PEG

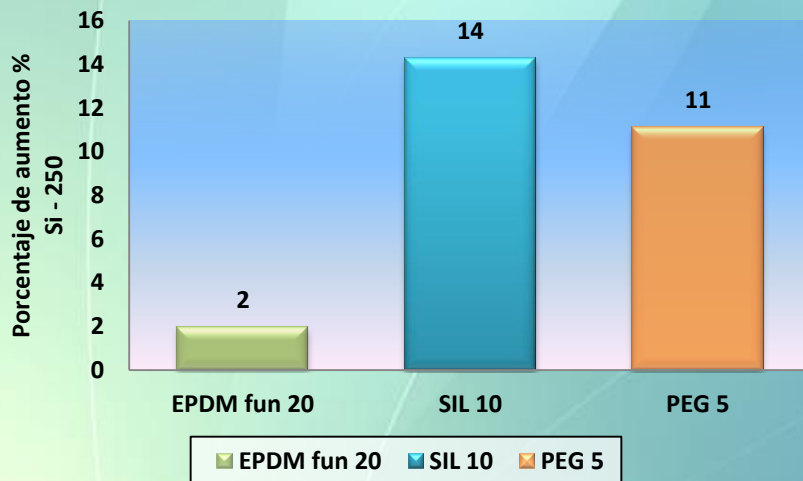
	EPDM/Si150			EPDM/Si250		
PEG (ppc)	0	5	10	0	5	10
$\Delta\sigma_{100}$ (%)	0	50	0	0	0	0
$\Delta\sigma_{300}$ (%)	0	33	33	25	50	50
$\Delta\sigma_R$ (%)	11	13	0	-30	10	0
$\Delta\varepsilon_R$ (%)	7	-9	-18	-47	-15	-19
$\Delta\text{Shore A } (\pm 1)$	4	6	4	4	5	5



## Desgarre

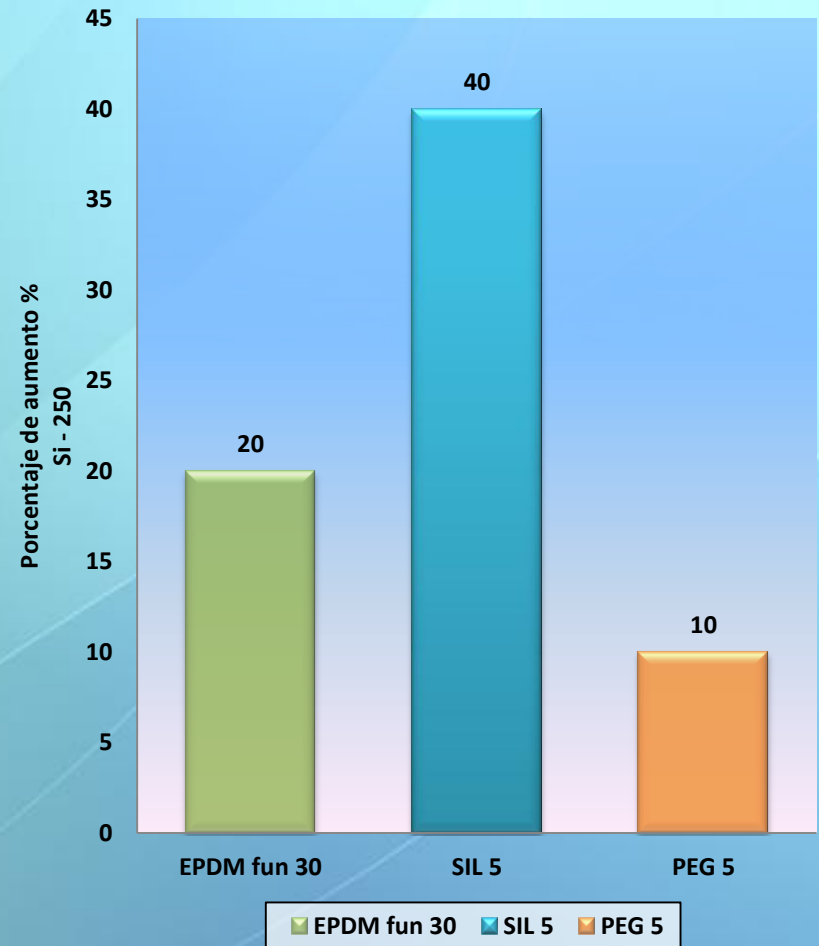


## Dureza



## RESUMIENDO

### Tensión







# **CAPÍTULO III**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



1- Se comprobó que el tamaño de partícula tiene una influencia importante sobre las propiedades físicas, reométricas, mecánicas y pruebas de envejecimiento sobre el sistema EPDM/Sílice. Mientras más superficie de contacto tenga la carga (mayor área superficial), mayor será la interacción caucho-carga, incrementándose las propiedades del compuesto, por esta razón se concluye que la Si-250 en general, fue la que obtuvo el mayor reforzamiento para el EPDM.

2- El tratamiento a la carga usando silano como agente acoplante fue el que arrojó mejores resultados sobre las propiedades físicas, reométricas, mecánicas y de envejecimiento para ambos tipos de sistema EPDM/Sílice estudiados, sin embargo cabe destacar que en las formulaciones con sílice Si-250 el tratamiento fue más eficiente.



3- A bajas cantidades de silano (5 ppc), las propiedades tensiles del sistema EPDM/Si-250 fue la que presentó los mejores resultados, obteniéndose un incremento del 50% para los módulos al 100 y 300 % y del 40 % para el esfuerzo en el punto de ruptura. Por otro lado se obtuvo una disminución del porcentaje de elongación del -21%.

4- Para altas cantidades de silano (10 ppc), las propiedades tensiles del sistema EPDM/Si-250 disminuyen, sin embargo tanto la resistencia al desgarre como la dureza aumentan, presentando un incremento del 15 % y 14 % respectivamente.

5- En el tratamiento a la carga usando polietilenglicol, existe una proporción óptima de agente acoplante (5 ppc), que mejora ligeramente las propiedades para ambos sistemas de EPDM/Sílice.





6- Con altas cantidades de polietilenglicol en la mezcla (10 ppc), el exceso de éste produce un efecto plastificante en el curado que degrada y desmejora las propiedades del compuesto para ambos sistemas de EPDM/Sílice.

7- El uso de EPDM funcionalizado como compatibilizante en ambos sistemas de EPDM/Sílice, no influyó prácticamente en el mejoramiento de las propiedades del compuesto.



# RECOMENDACIONES

- Mejorar el sistema de enfriamiento del mezclador para que en las formulaciones con altas cantidades de carga y compatibilizantes la temperatura se mantenga en el rango estipulado por la norma, exista un mejor procesamiento y no se detenga el proceso de mezclado.

- Realizar el análisis morfológico de las muestras.

- Realizar el análisis de las propiedades dinámicas para los tres tipos de tratamientos, para futuras comparaciones.

- Probar EPDM funcionalizado comercial como compatibilizante, para comparaciones con el tratamiento del funcionalizado hecho en el laboratorio.



# Gracias

