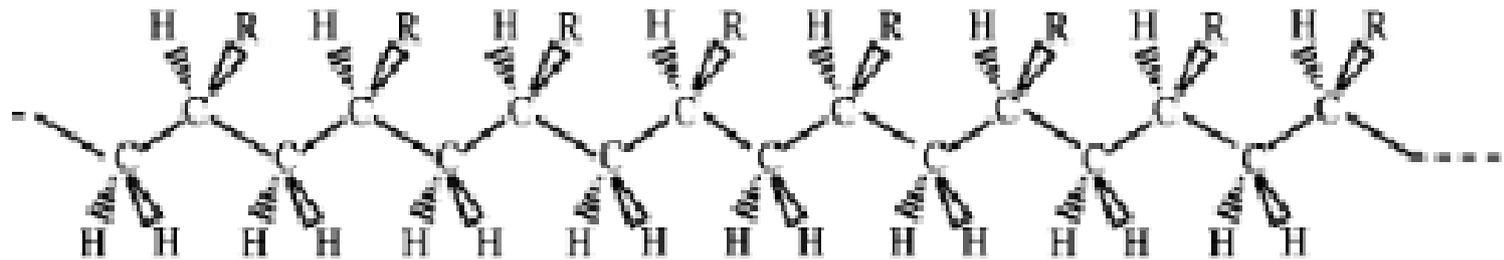


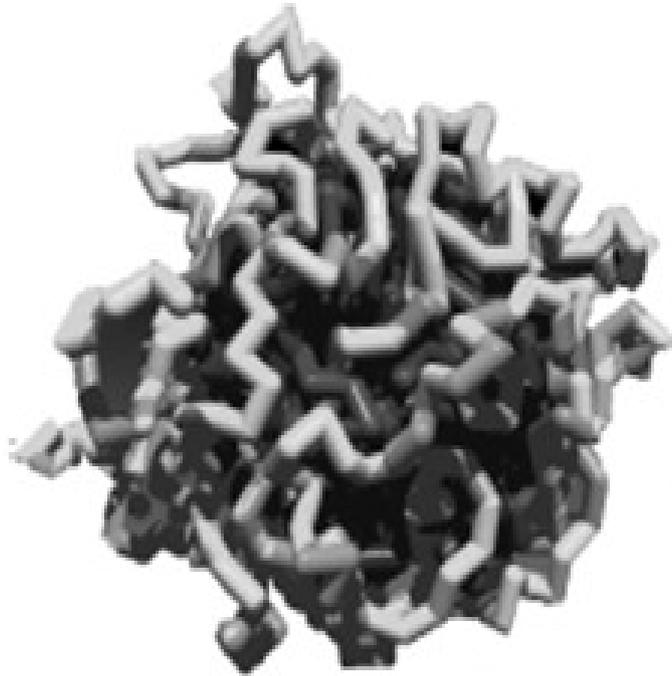
Efectos de la degradación mecánica en la dinámica de vórtices en fluidos poliméricos

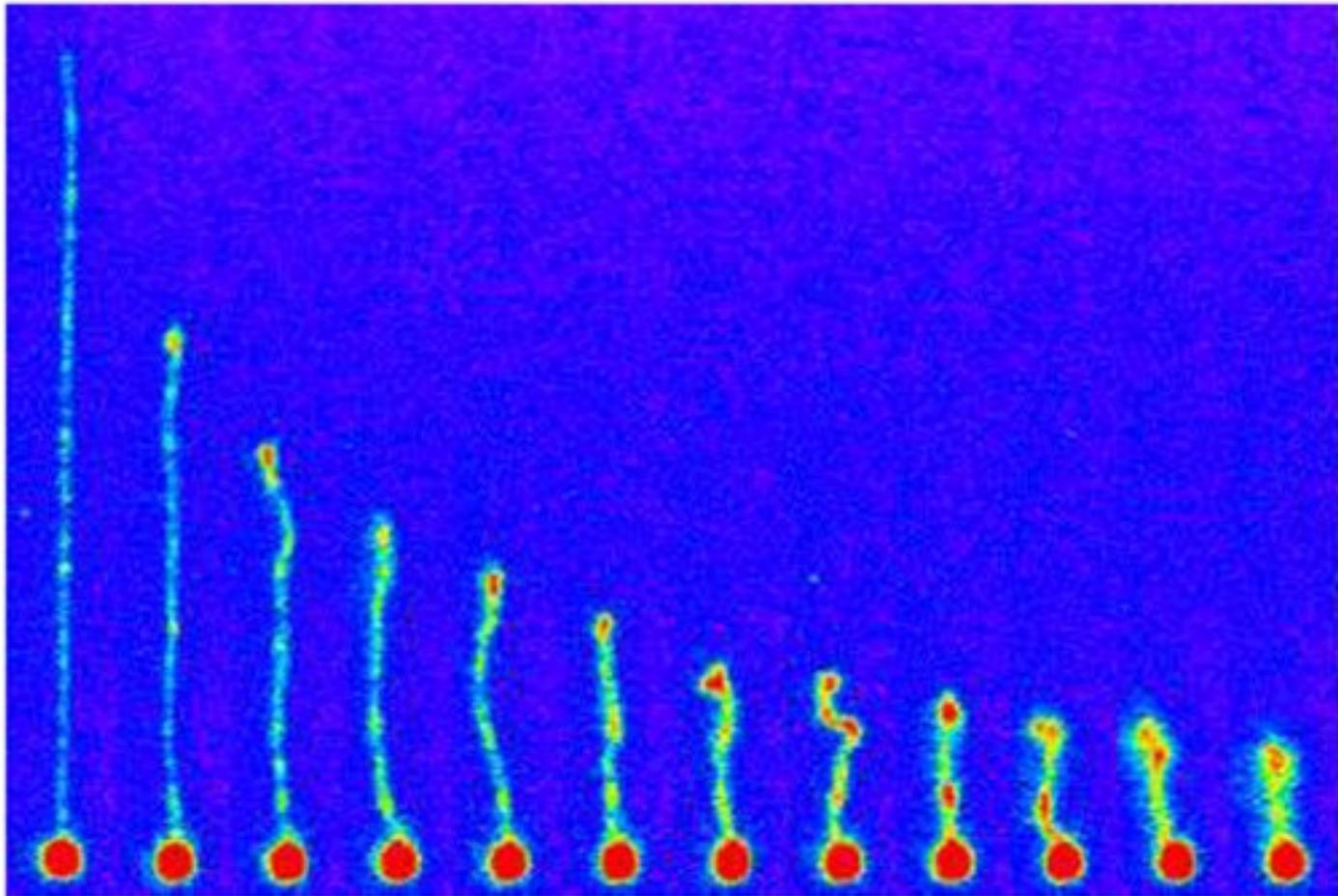
Polímeros



Molécula que es una larga cadena de elementos que se repiten : monómeros

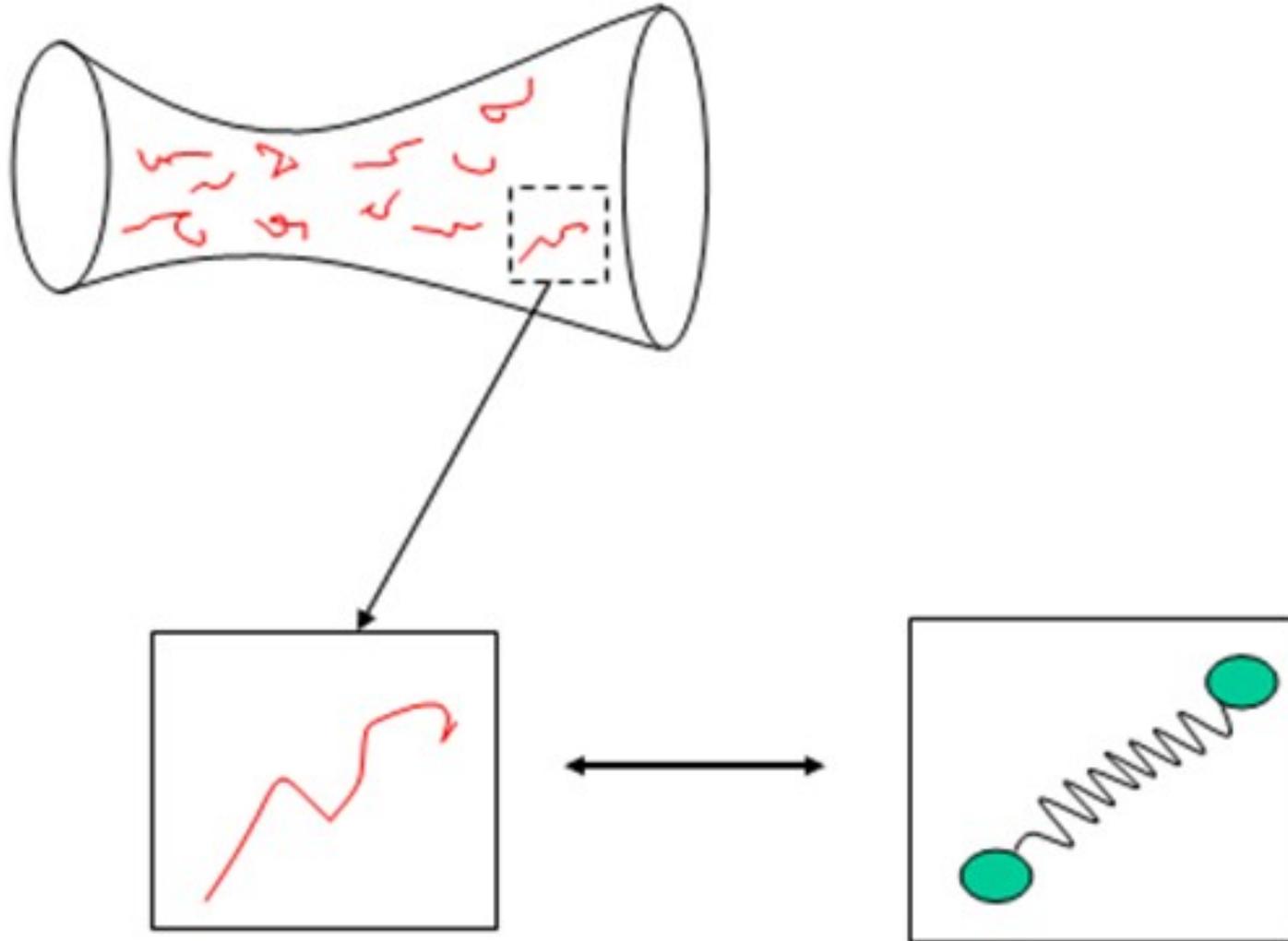
Comportamiento en flujos

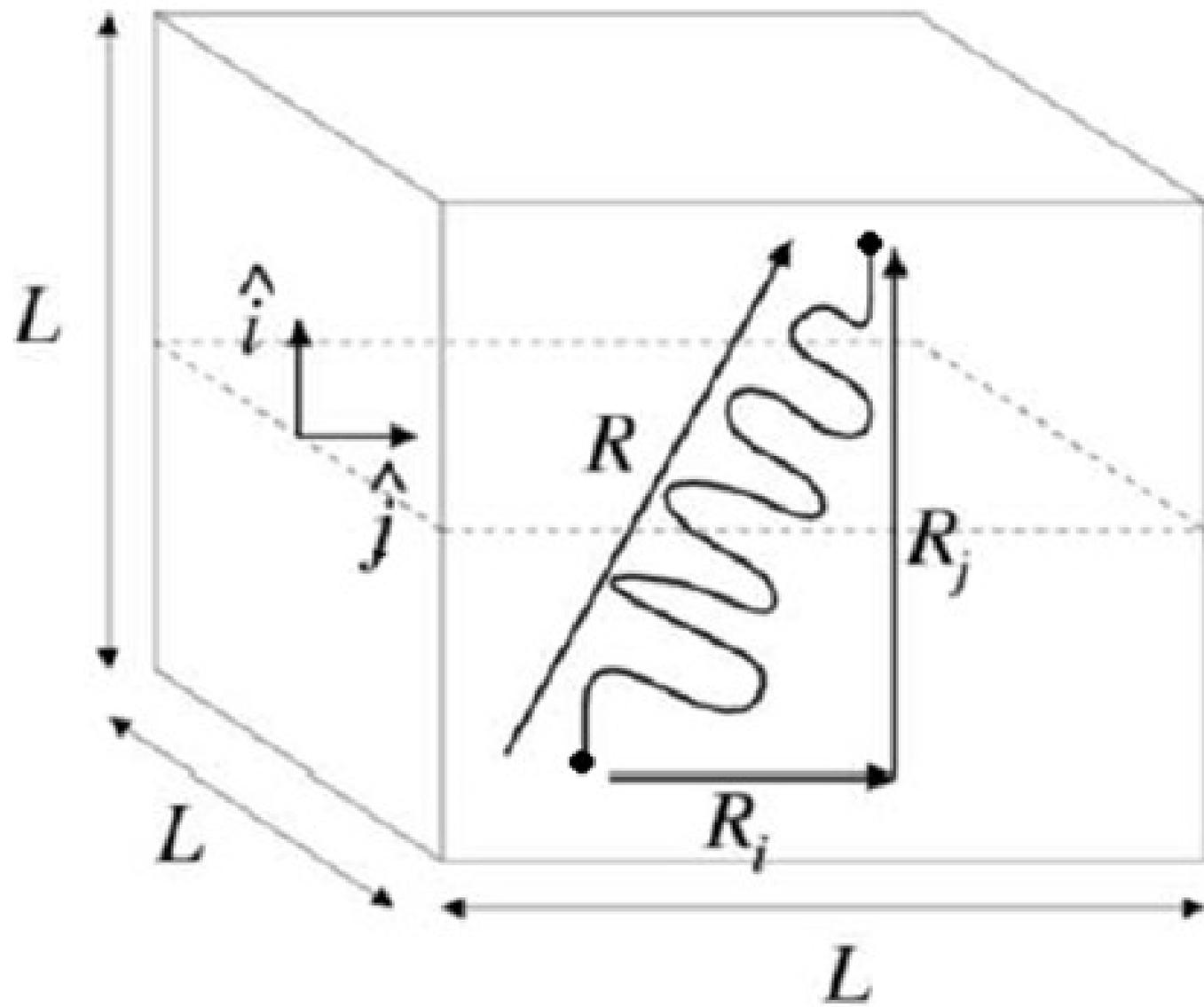




ADN

Modelos





Dada una superficie S , el polímero realiza fuerza sobre ella si atraviesa la superficie.

El módulo de la fuerza es $k R$

Se define como σ_p el tensor que determina la fuerza elástica sobre la superficie

m : número de polímeros por unidad de volumen

Fuerza como resorte lineal

$$f_i = -k R_i$$



$$m \mathbf{R} \cdot \mathbf{n} \delta S \quad \leftarrow \quad \text{Número de polímeros que atraviesan la superficie}$$

Queremos un tensor tal que

$$\sigma_{ij}^p n_j \delta S = k R_i (m \mathbf{R} \cdot \mathbf{n} \delta S)$$

$$\sigma_{ij}^p n_j = k R_i (m R_j n_j) = k m R_i R_j n_j$$

$$\boxed{\sigma_{ij}^p = G R_i R_j} \quad , \quad G = mk$$

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{R}) = \mathbf{R} \cdot \nabla \mathbf{u}$$

$$\frac{d}{dt}(R_i R_j) = R_i \frac{dR_j}{dt} + \frac{dR_i}{dt} R_j$$

$$\frac{D\sigma^c}{Dt} = \sigma^c \cdot \nabla \mathbf{u} + \nabla^T \mathbf{u} \cdot \sigma^c + \frac{1}{\lambda} (R_0^2 \delta_{ij} - \sigma^c)$$

El último término representa la tendencia a que el resorte recobre su longitud natural

Oldroyd-B

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} \quad (2)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = -p\mathbf{I} + \eta (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^\top) + G \boldsymbol{\sigma}^c \quad (3)$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{\sigma}^c}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \boldsymbol{\sigma}^c - \boldsymbol{\sigma}^c \cdot \nabla \mathbf{u} - (\nabla \mathbf{u})^\top \cdot \boldsymbol{\sigma}^c = -\frac{1}{\lambda} (\boldsymbol{\sigma}^c - \mathbf{I}) \quad (4)$$

$\lambda = \mu / k$ tiempo de relajación, y $G = m k$

Limitaciones del modelo Oldroyd-b

- Oldroyd-b trata a los polímeros como resortes lineales.
- En la realidad, los mismos son no lineales.
- La flexibilidad importa
- La viscosidad de la solución depende del esfuerzo.

- FENE

$$\tau = -pI + 2\mu_s E + \frac{Gf}{\tau}(A - I).$$

$$f = \frac{L^2}{L^2 - \text{trace } A},$$

Otros modelos

- Giesekeus

$$\sigma = \sigma_s + \sigma_p$$

$$\sigma_s = \mu_s E$$

$$\sigma_p + \lambda_1 \nabla \sigma_p + \frac{\alpha \lambda_1}{\mu_p} \sigma_p^2 = 2\mu_p E$$

- White-Metzer

$$\sigma + \frac{\mu(\dot{\gamma})}{G} \nabla \sigma = 2\mu(\dot{\gamma}) E.$$

- Carreau

$$\mu(\dot{\gamma}) = \mu_{\infty} + (\mu_0 - \mu_{\infty}) [1 + (\lambda \dot{\gamma})^a]^{\frac{n-1}{a}}$$

Viscosidad variable : shear thinning

Adimensionales

- $Re = U R / \nu$
- $De = \lambda / \tau c = \lambda U / R$
- α de Giesekeus
- $Traza(\sigma) / l_0$ (longitud finita)
- N, a de Carreau
- etc..

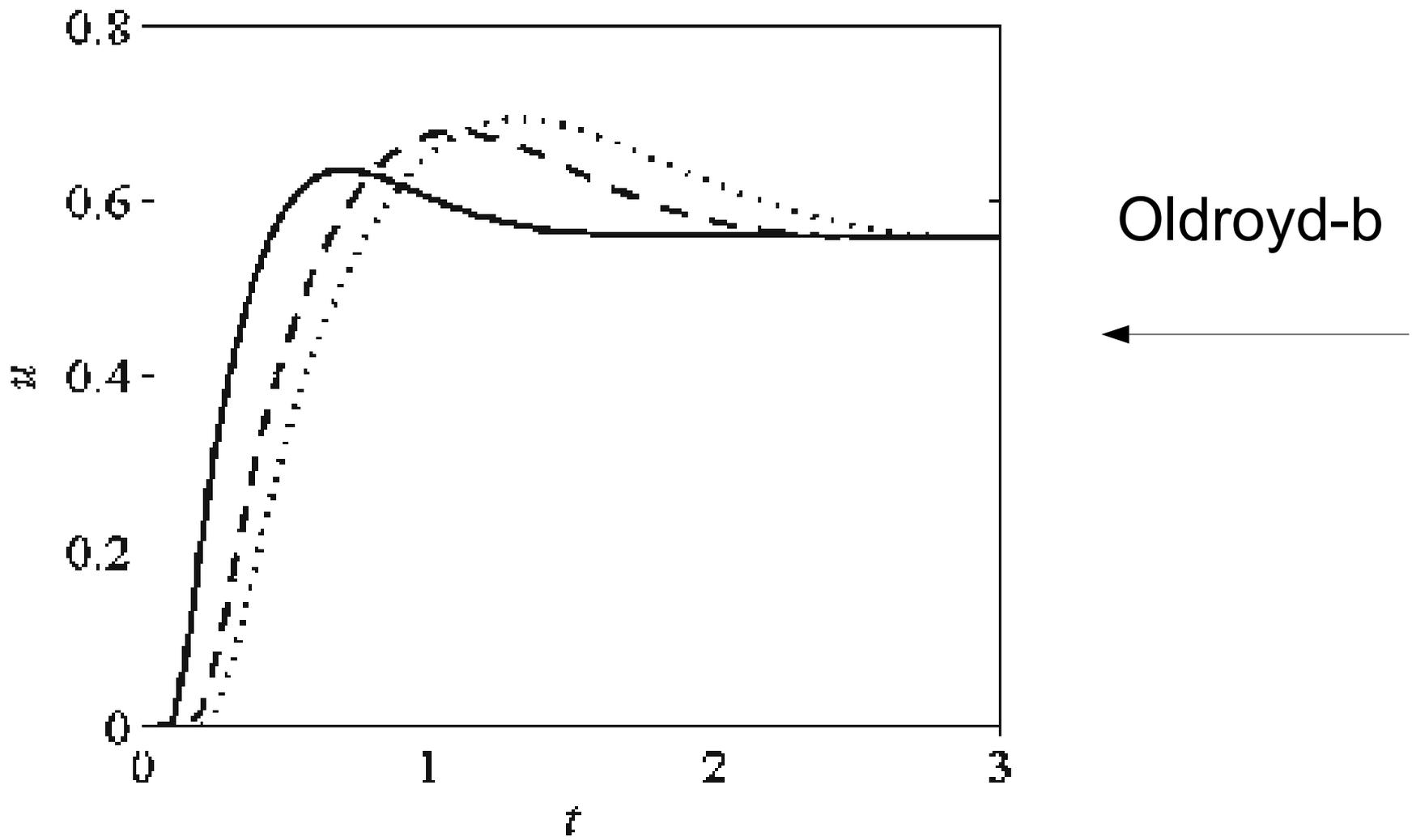
Adimensionales

- Re
- $De = \lambda / \tau_c$
- α de Giesekus
- L / l_c (longitud finita)
- n, a de Carreau
- Etc..

El fluidos newtonianos solamente tenemos $Re!$

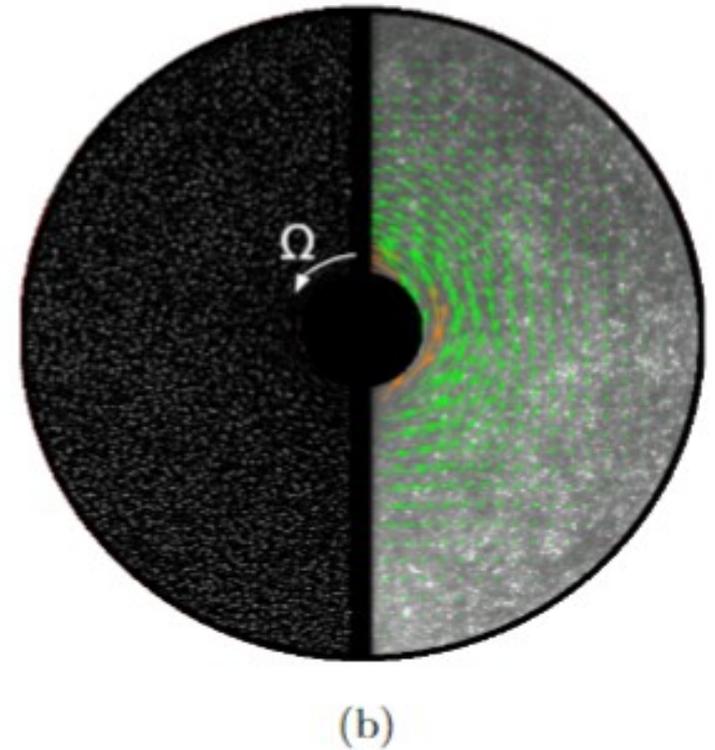
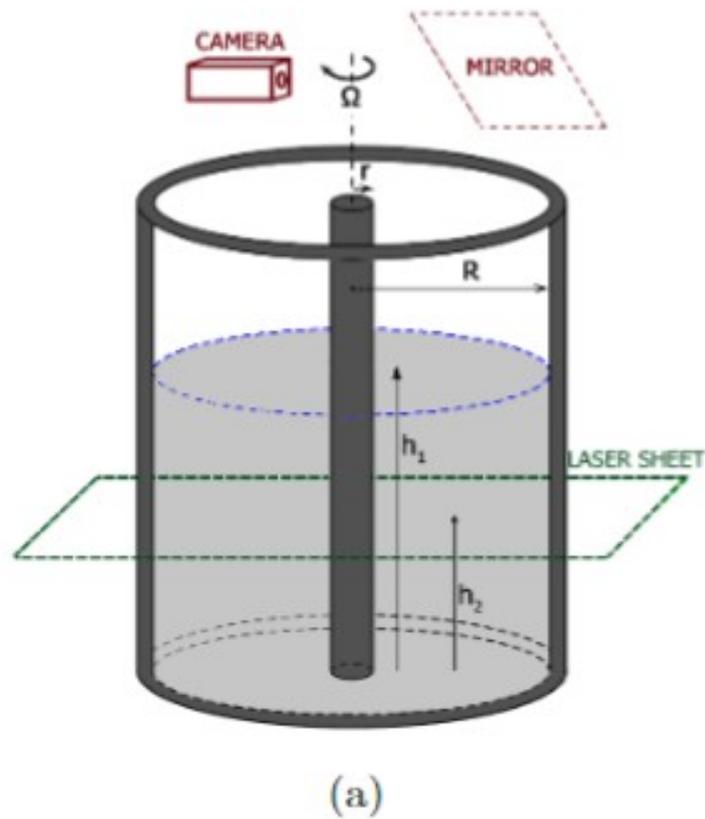
Unsteady rotating flows of a viscoelastic fluid with the fractional Maxwell model between coaxial cylinders

Haitao Qi · Hui Jin

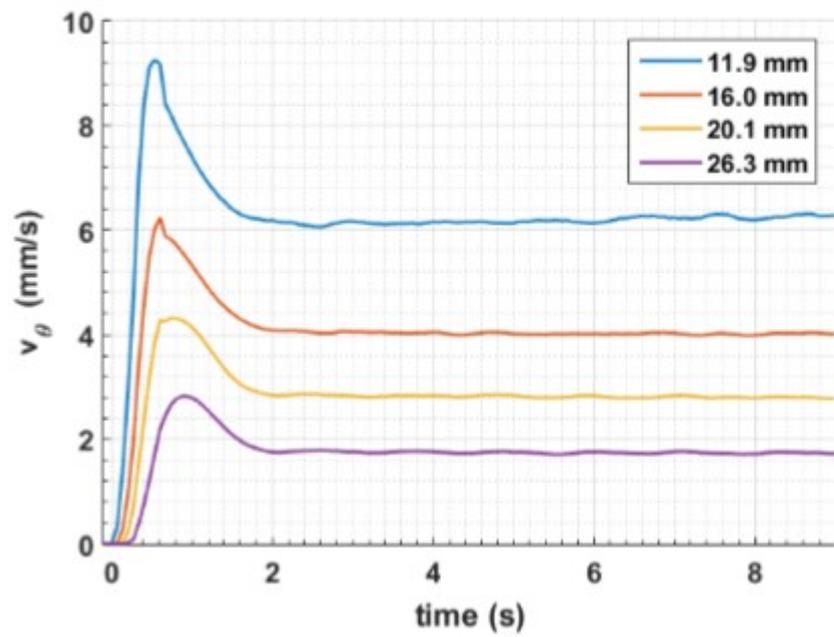


- Casi inexistentes experimentos respecto la generación y decaimiento de vórtices en fluidos viscoelásticos.

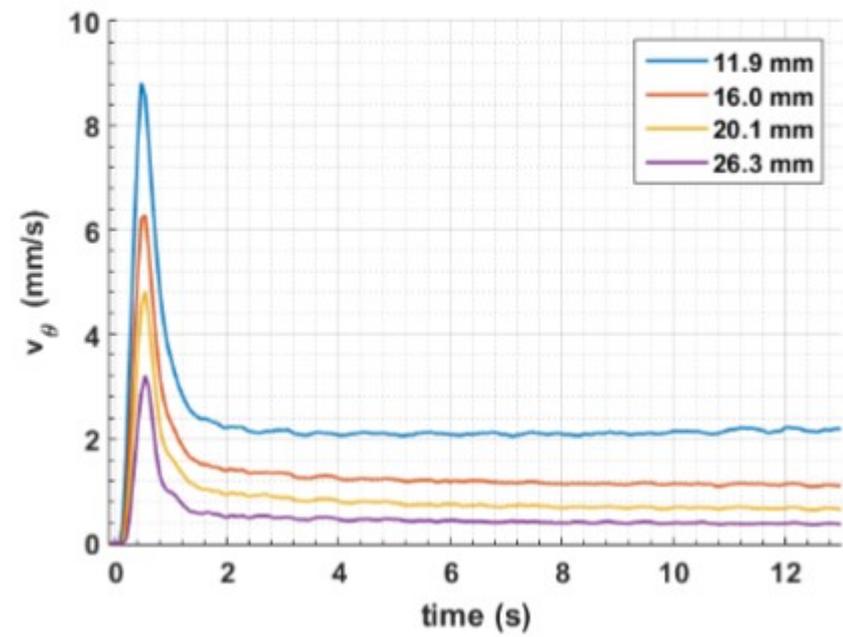
Development and decay of vortex flows in viscoelastic fluids between concentric cylinders



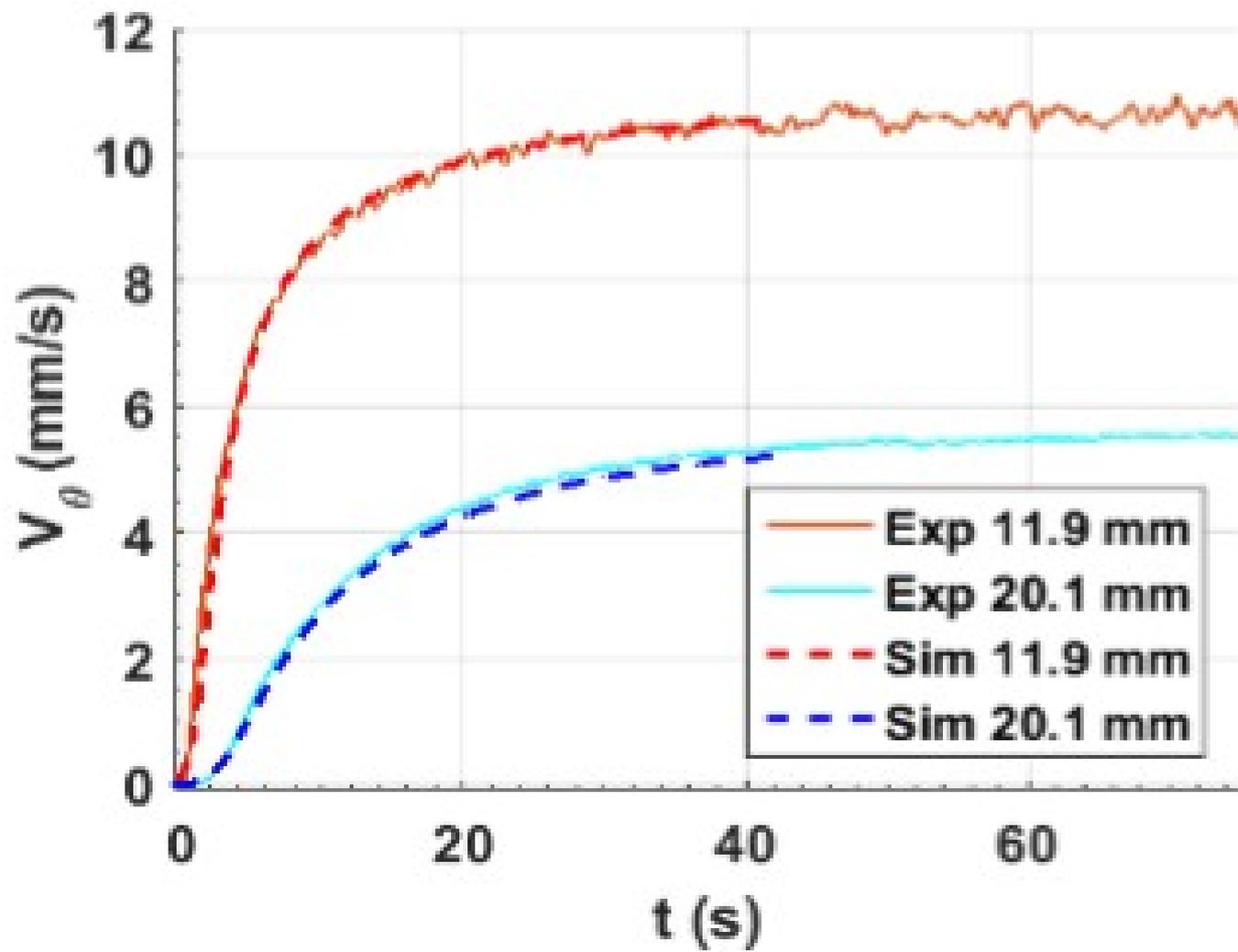
Glycerin (%)	30	60	30	60
Polyacrylamide (%)	1.0	1.0	2.0	2.0
$\mu_0(\text{Pa}\cdot\text{s})$	4.65	4.40	107	157
$\nu_0(\times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s})$	4.39	3.93	101	140
$\lambda(\text{s})$	9.8	2.2	42	46
$\text{Re}(\times 10^{-3})$	29.0	32.5	0.91	1.26
De	55.4	12.4	237	260
$\text{E}(\times 10^3)$	1.91	0.383	188	286



$De = 55$

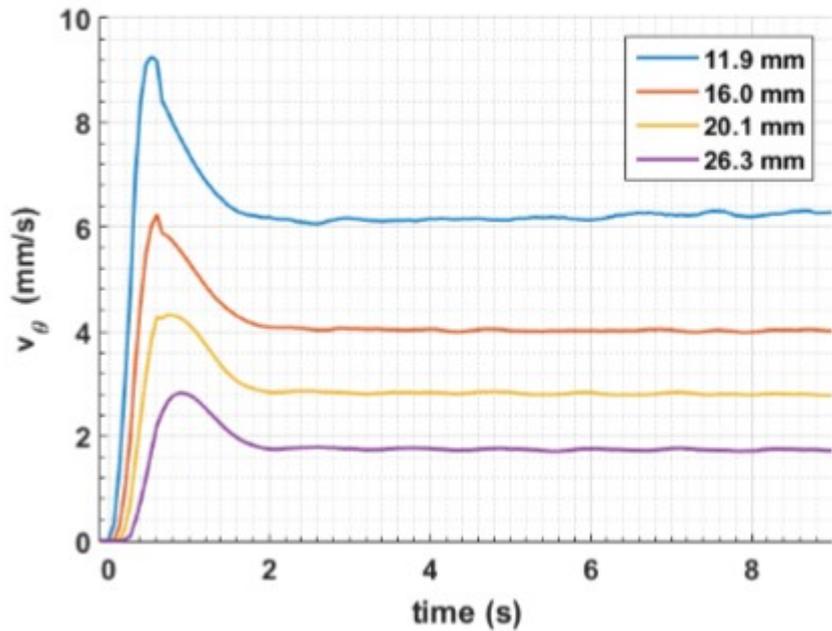


$De = 237$

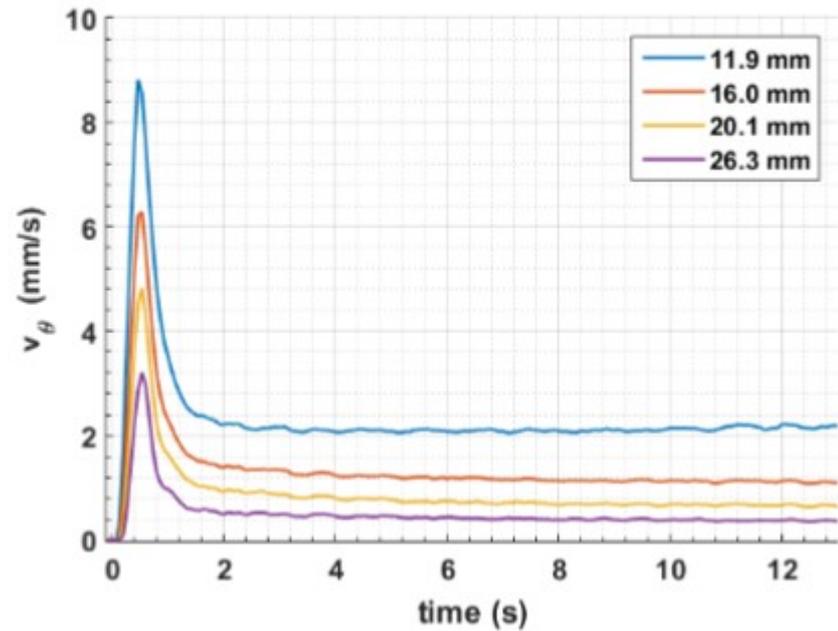


Newtoniano

- De mide efectos elásticos, si el fluido es newtoniano $De=0$.

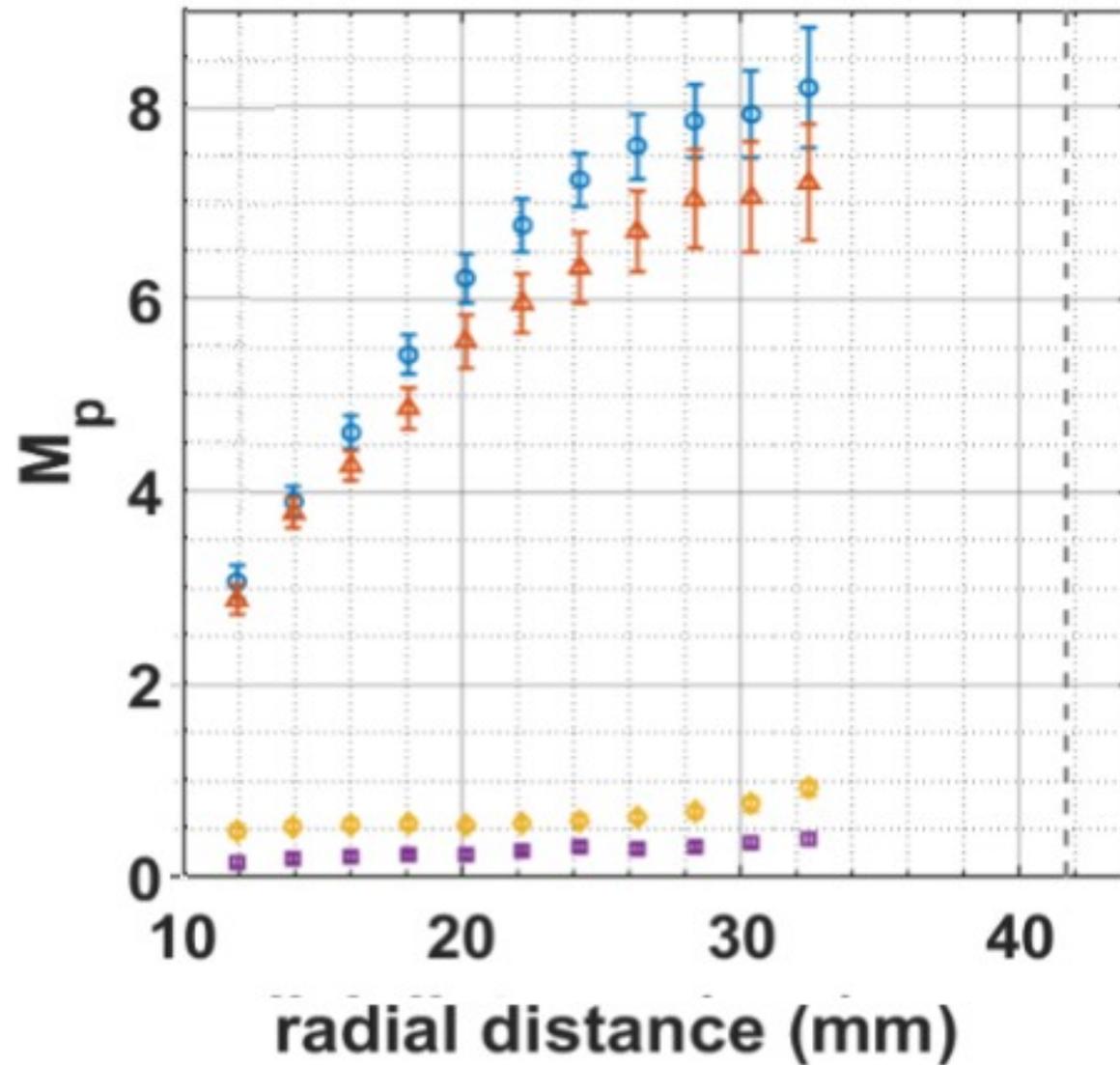


$De = 55$

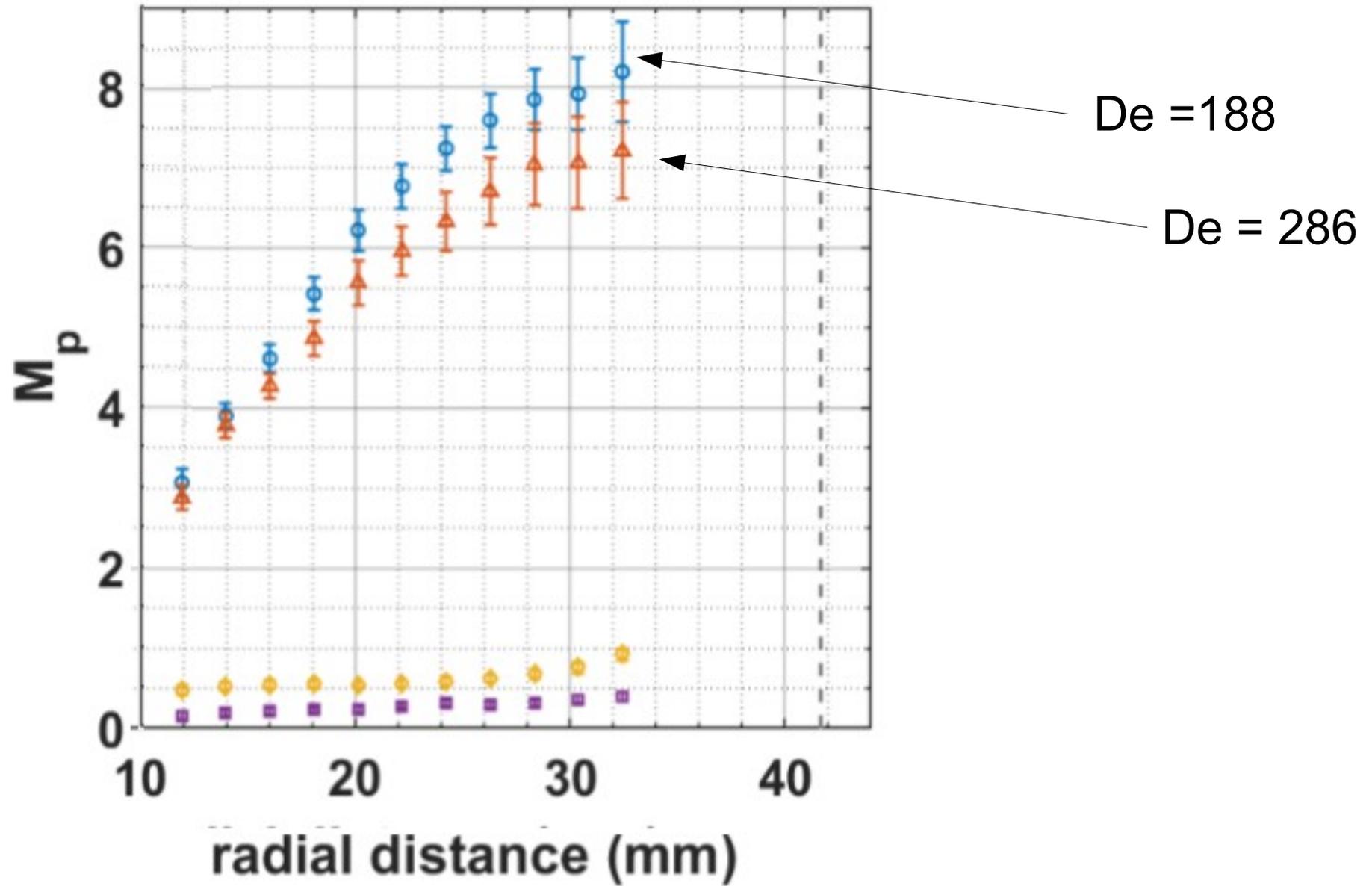


$De = 237$

$$M_p = (v_m - v_s) / v_s$$

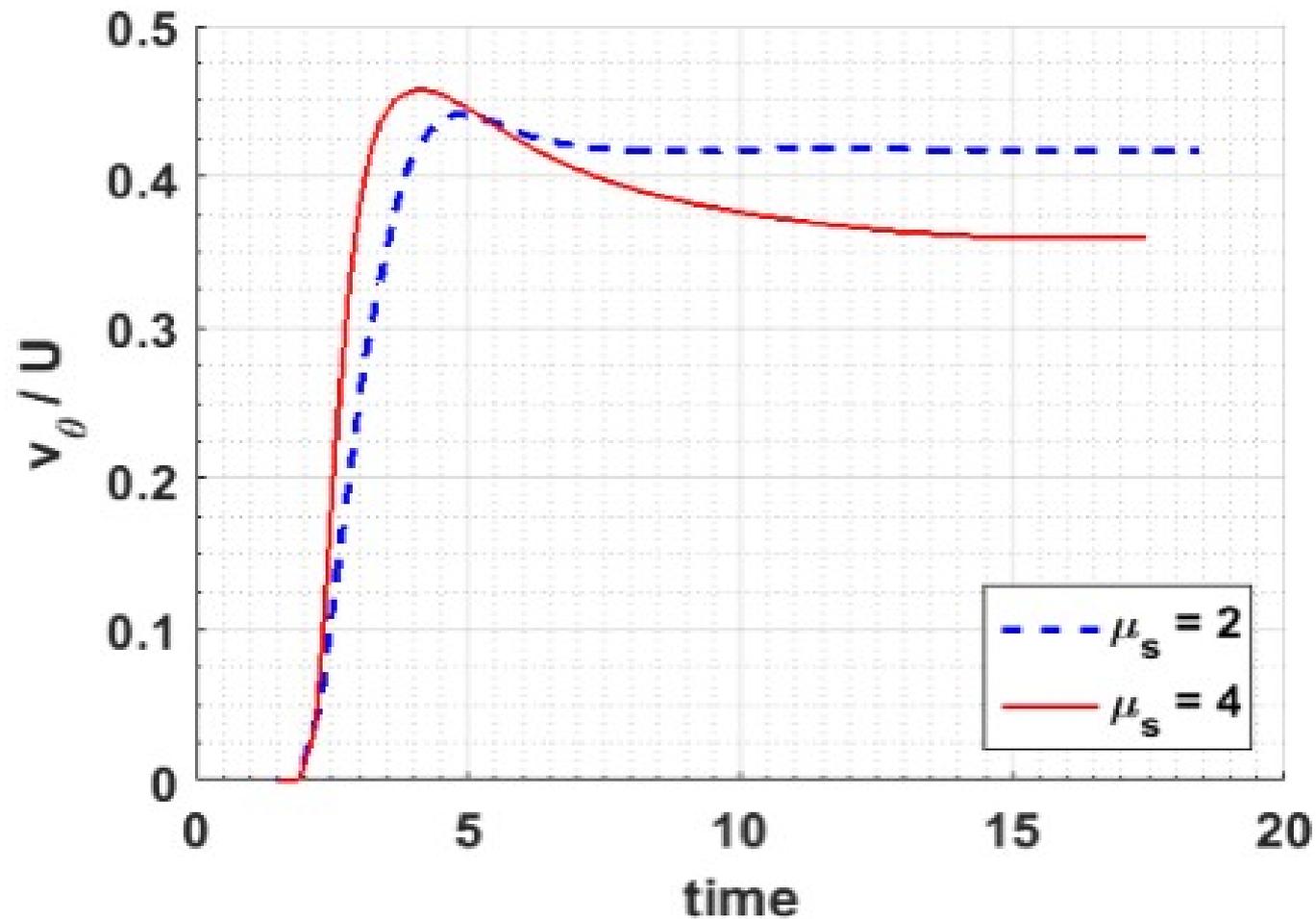


- De determina el overshoot M_p ?

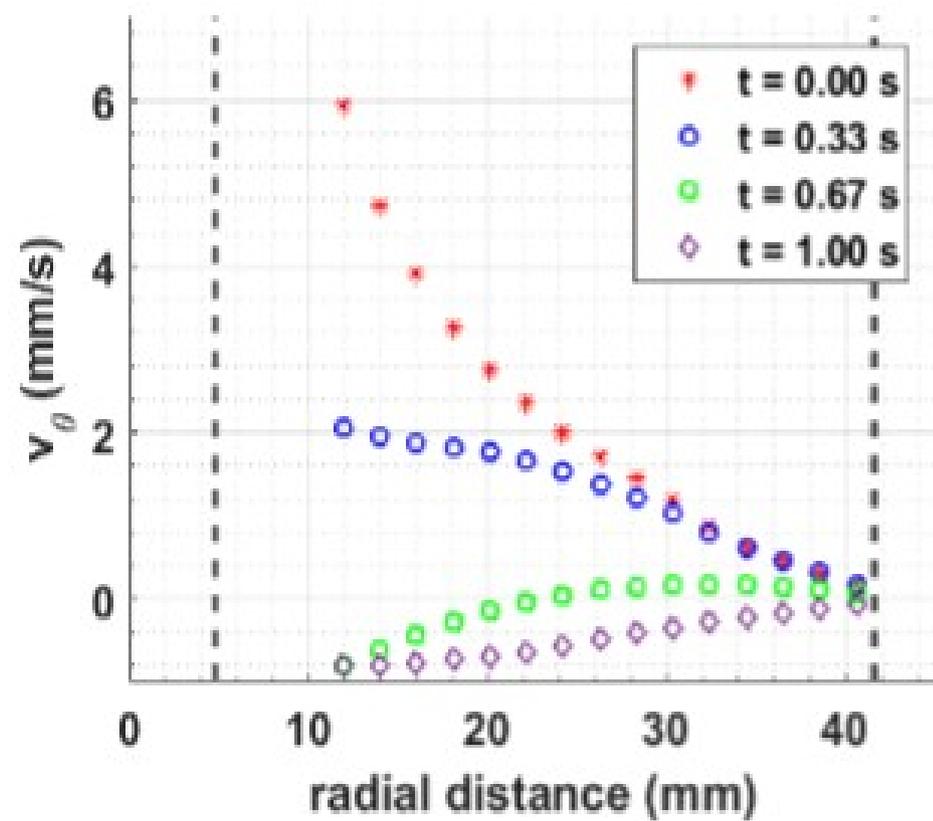
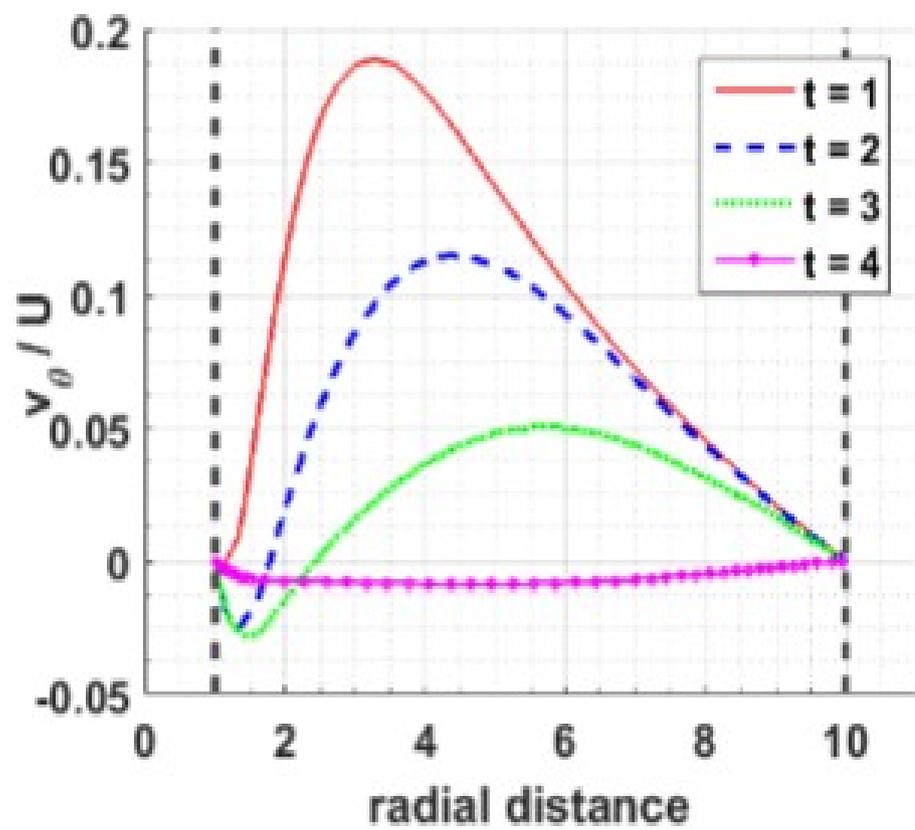


Simulaciones

- Oldroyd-b



$\lambda = \mu / k$ tiempo de relajación, $De = \lambda / \tau_c$



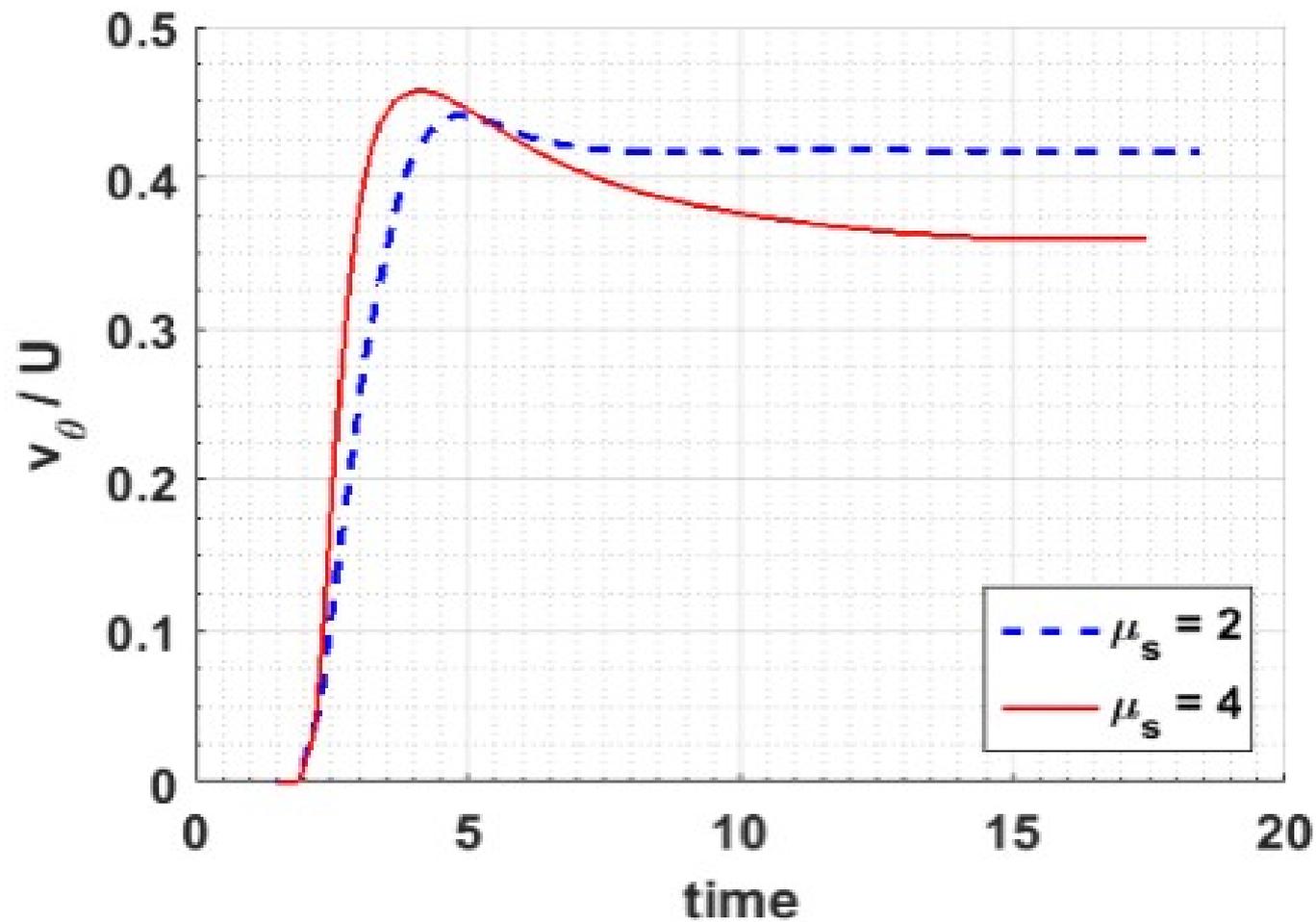
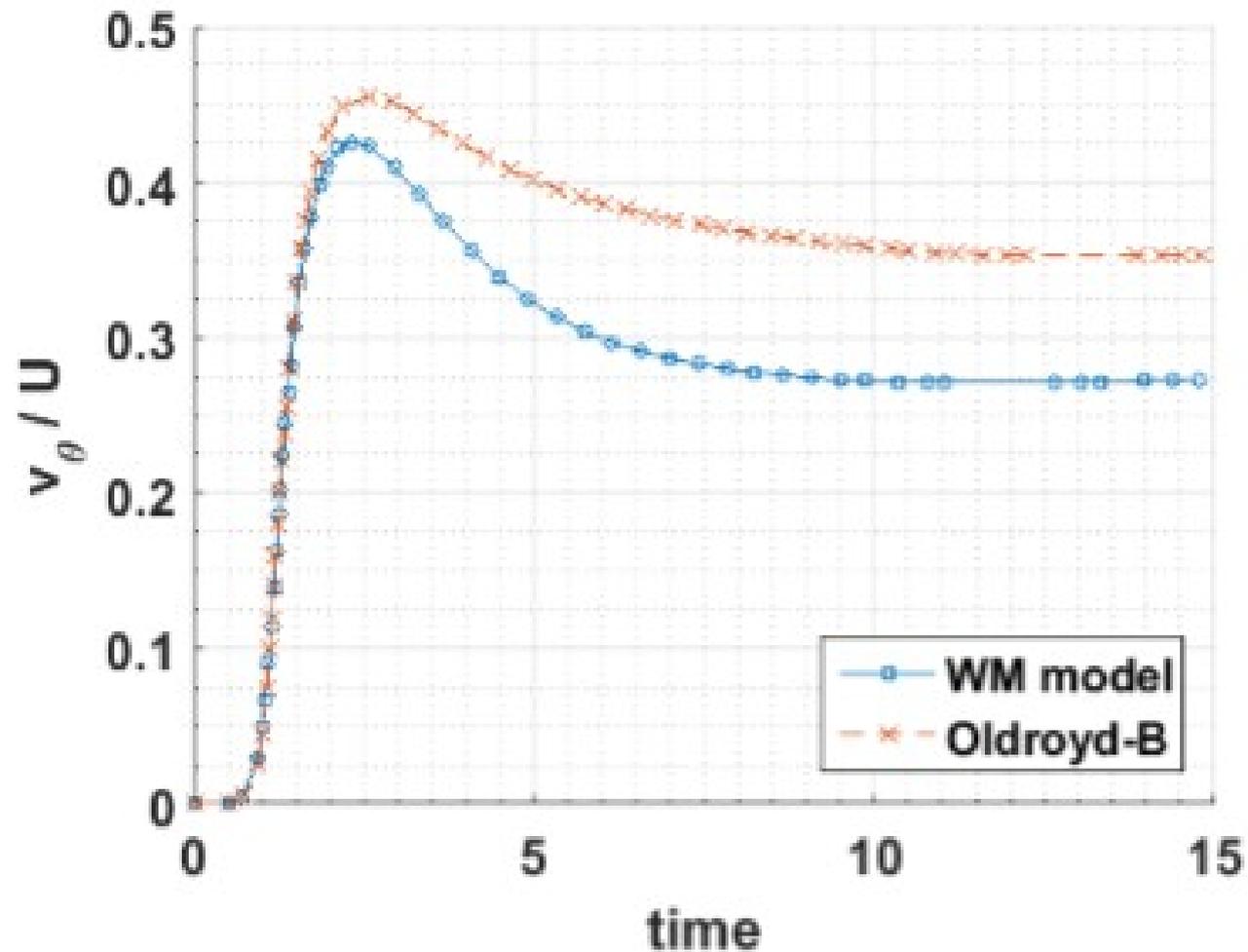


Figure 9: Effect of the solvent viscosity variation in a simulation of the Oldroyd-B model. **The velocity corresponds to radial distance $0.2R$.** An increase of μ_s decreases Re while increases De . The solid line corresponds to $De=0.5$, $Re = 0.025$ ($\mu_s = 4$) and the dashed line to $De=0.25$, $Re=0.05$ ($\mu_s = 2$).

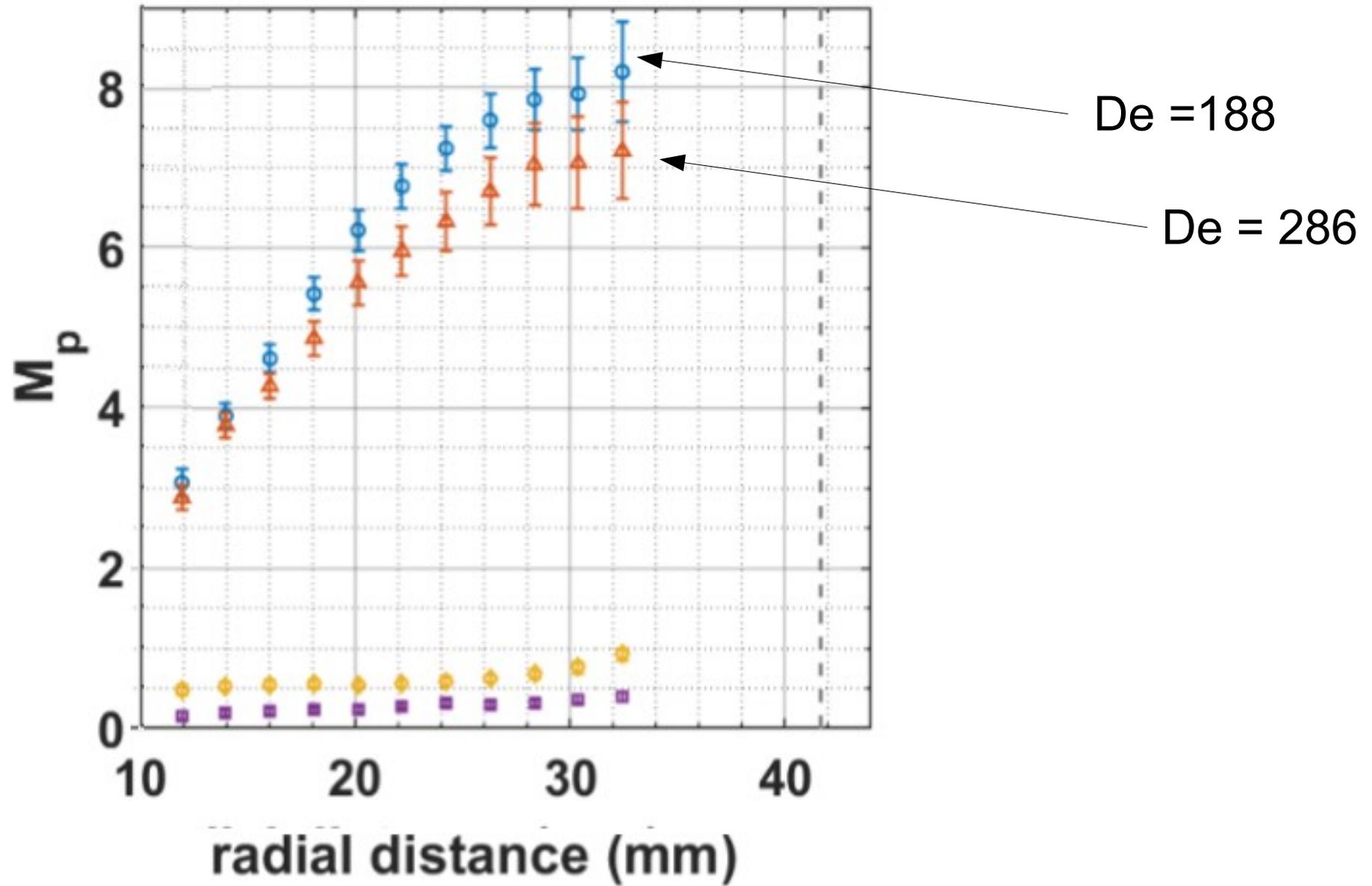
- Oldroyd-b puede explicar el overshoot pero no la dependencia con el solvente observado.

- Modelo White-Metzer
- Incluye efecto shear-thinning



- El efecto shear thinning aumenta el overshoot.
- Aumentar la viscosidad del solvente tiene **dos efectos que compiten**: aumenta Δ pero reduce efecto shear-thinning.
- Por eso aumentar la viscosidad del solvente puede reducir M_p .

- De determina el overshoot M_p ?



En este problema no son solamente importantes Re y De , sino los parámetros que controlan el shear-thinning.

$$\mu(\dot{\gamma}) = \mu_{\infty} + (\mu_0 - \mu_{\infty}) [1 + (\lambda \dot{\gamma})^a]^{\frac{n-1}{a}}$$

- Otros resultados de simulaciones con el modelo W-M, mostraron que en ese modelo hay una velocidad de rotación óptima que maximiza M_p .

- Otros resultados de simulaciones con el modelo W-M, mostraron que en ese modelo hay una velocidad de rotación óptima que maximiza M_p .
- La velocidad óptima dependería de λ .

- Este efecto podría servir para caracterizar el fluido.
- Se hicieron nuevos experimentos cambiando las propiedades del fluido. Se propuso usar la degradación para cambiar las propiedades.

- La degradación mecánica ocurre cuando los polímeros se van quebrando debido a las tensiones.

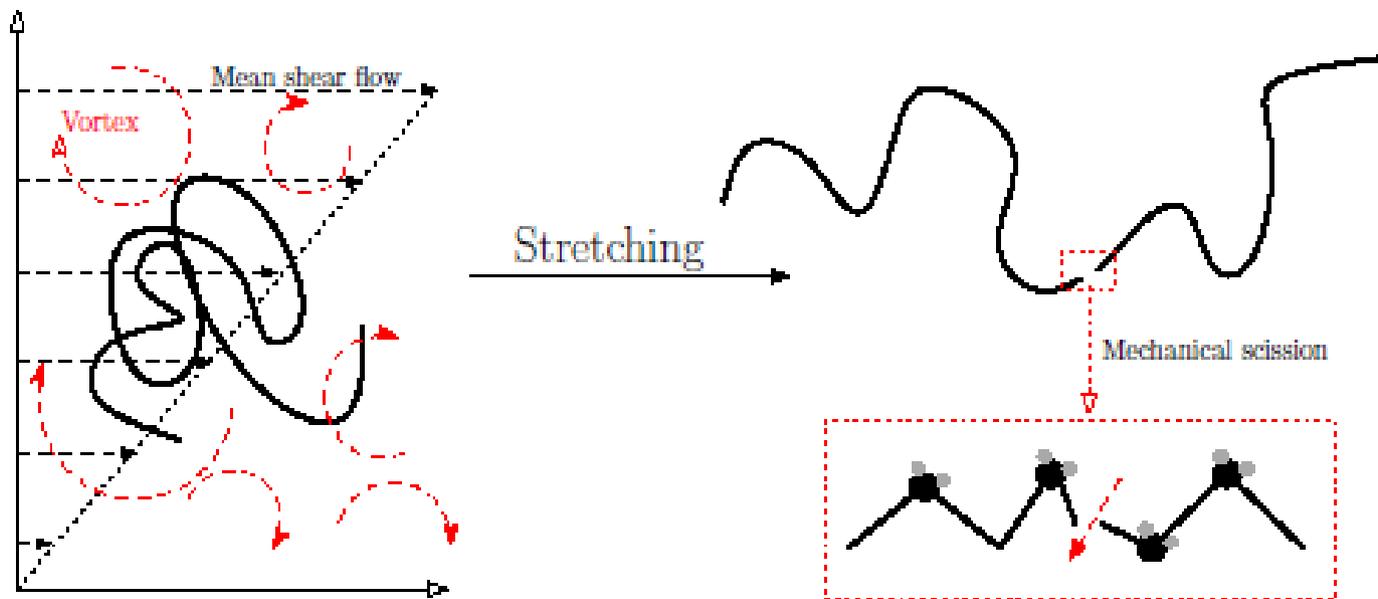
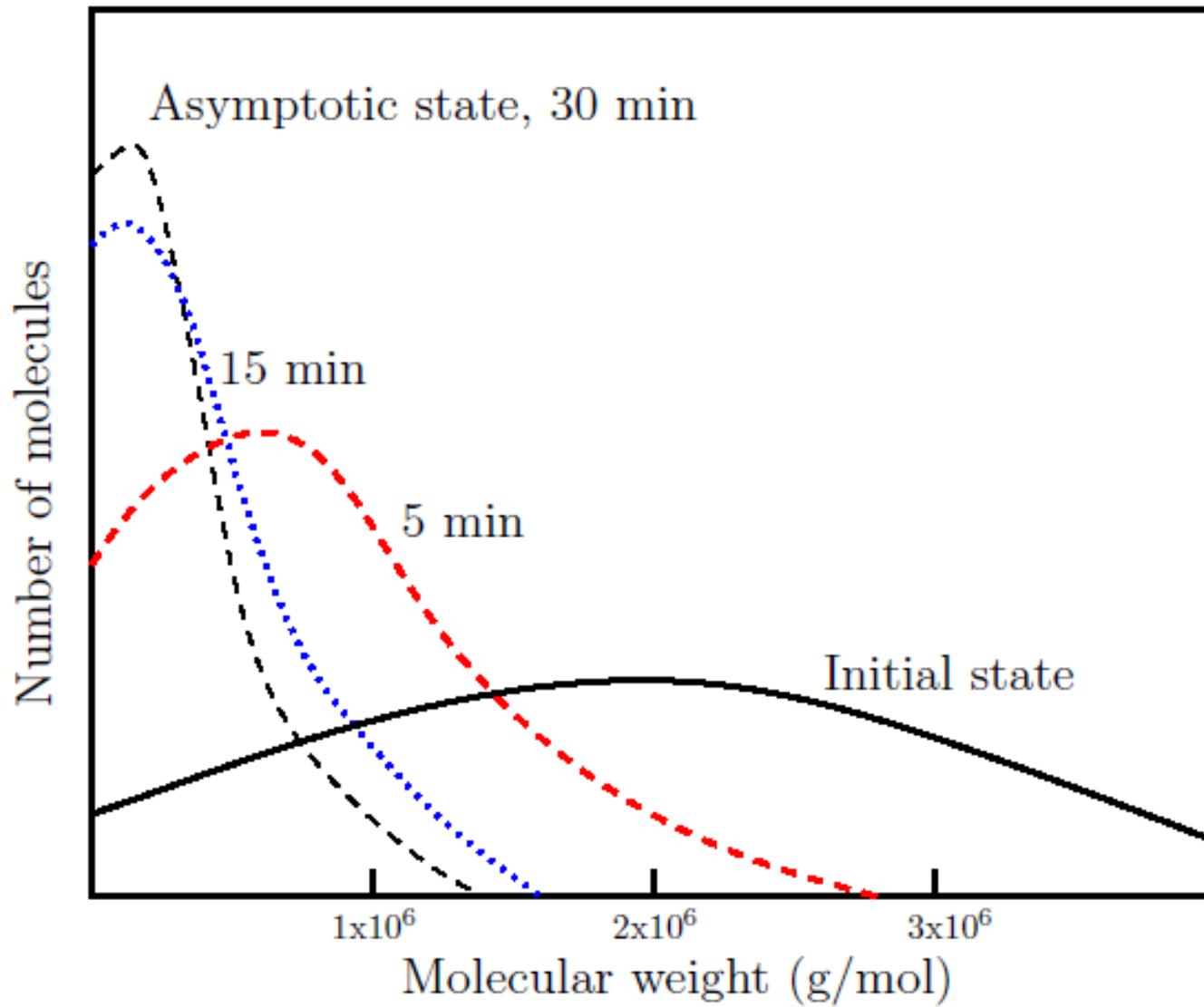


Figure 2: Sketch of molecular scission.



Se llega a una distribución estacionaria

- La degradación depende de las velocidades medias del flujo, las fluctuaciones, temperatura , etc.
- Si la tensión en el polímero supera un cierto valor el mismo se rompe.

- Fuerza

$$f \propto \dot{\epsilon} \eta M_v^2,$$

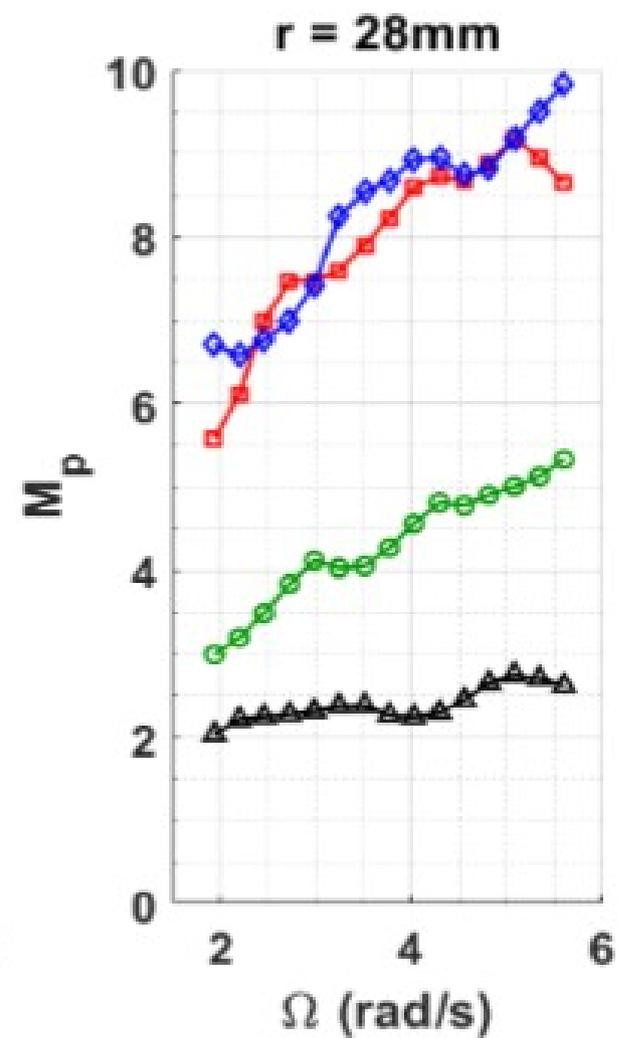
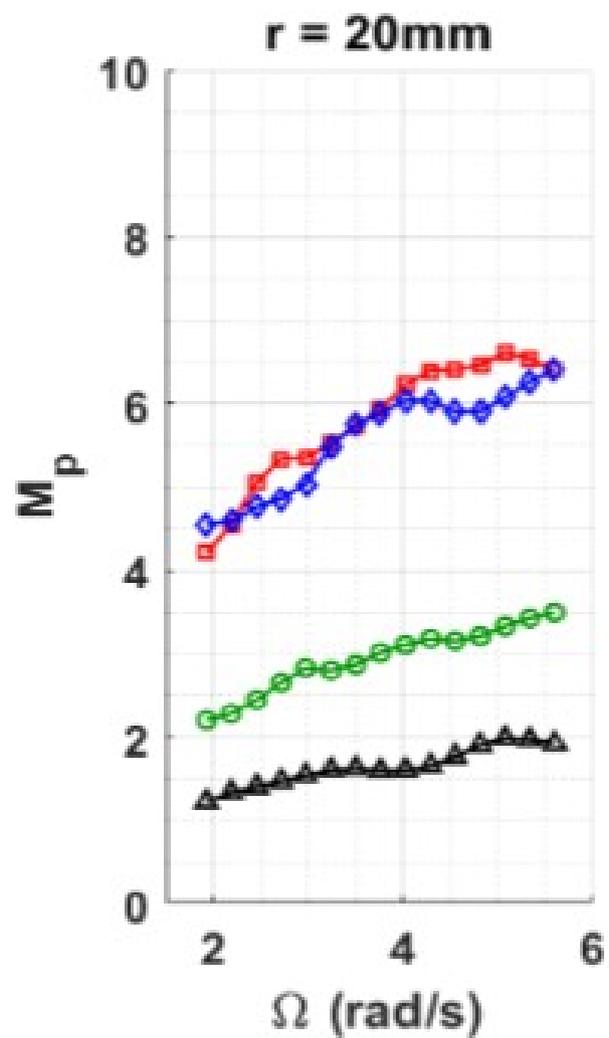
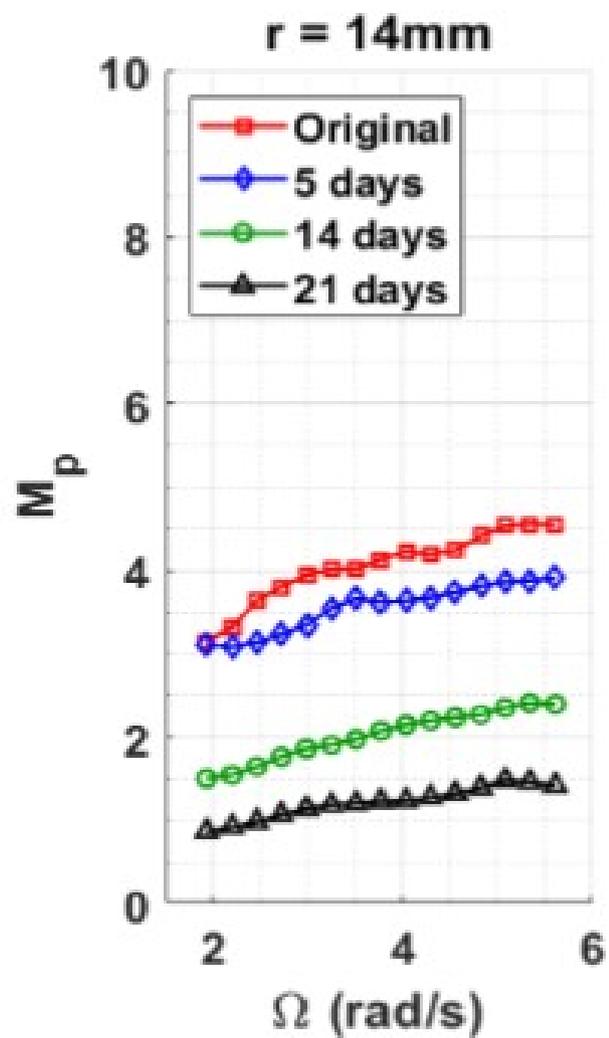
$$f_0 < c \dot{\epsilon} \eta M_v^2$$

Se rompe

- Si

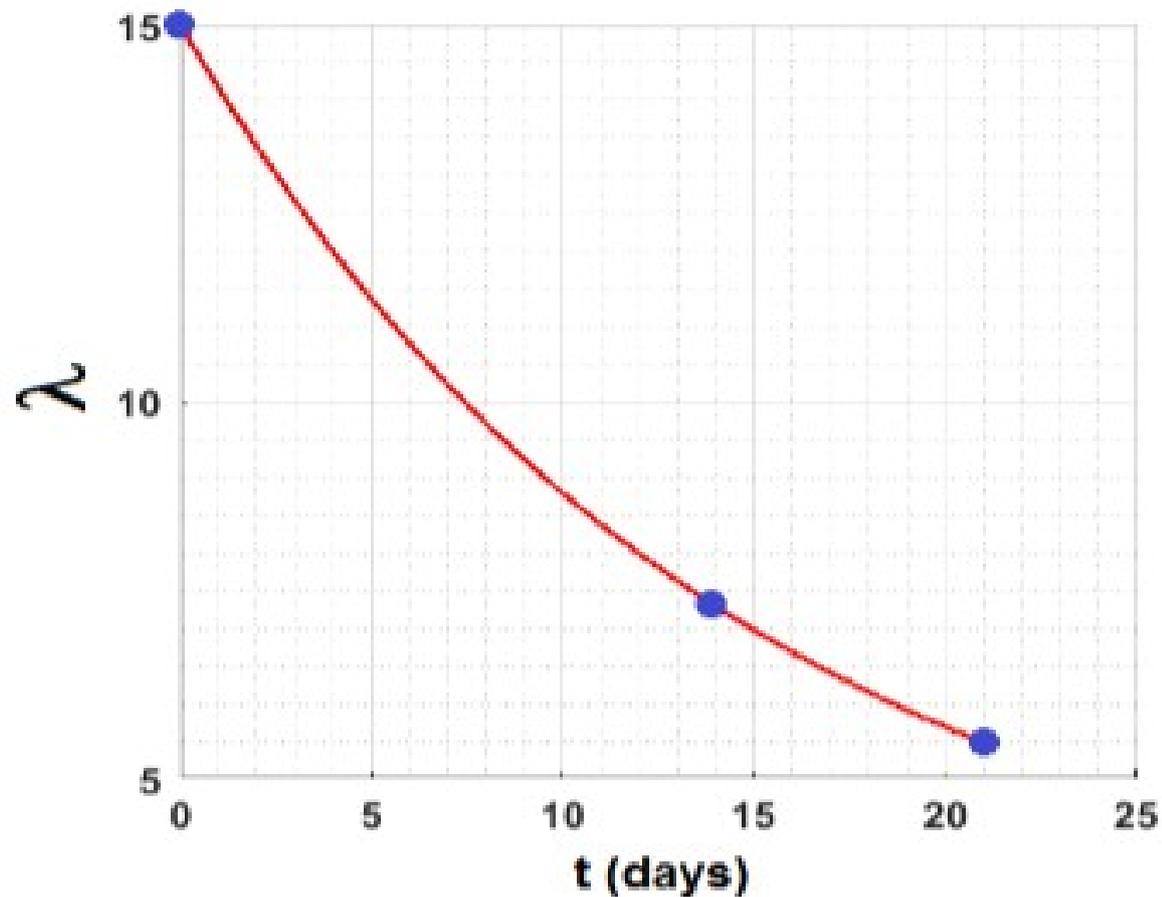
$$M_v^2 < f_0 / c \dot{\epsilon} \eta$$

- no se rompen, por eso se llega a un estacionario con polímeros no centrada en cero.
- A tiempos grandes siguen habiendo efectos elásticos.



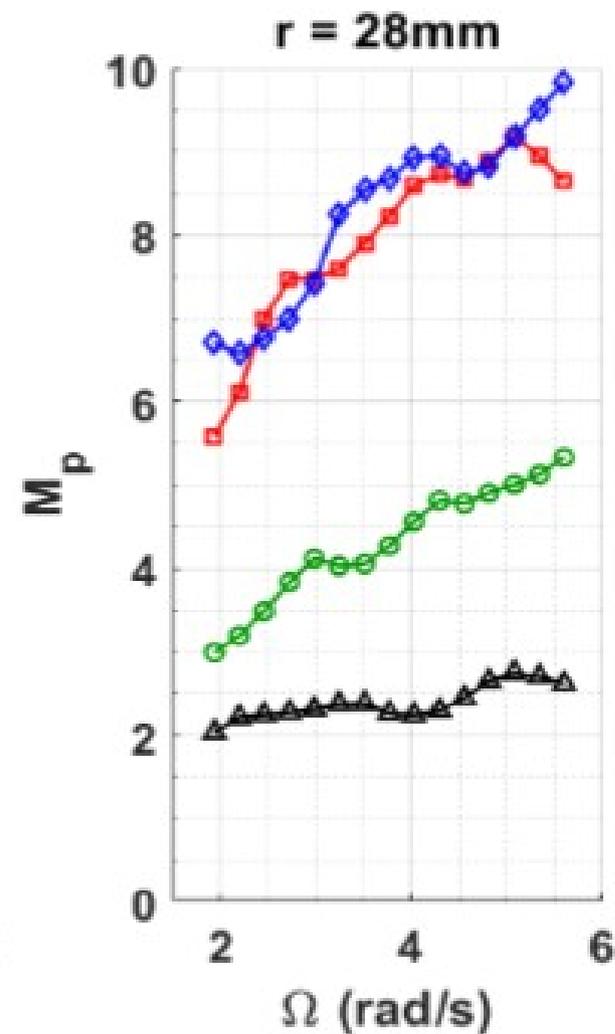
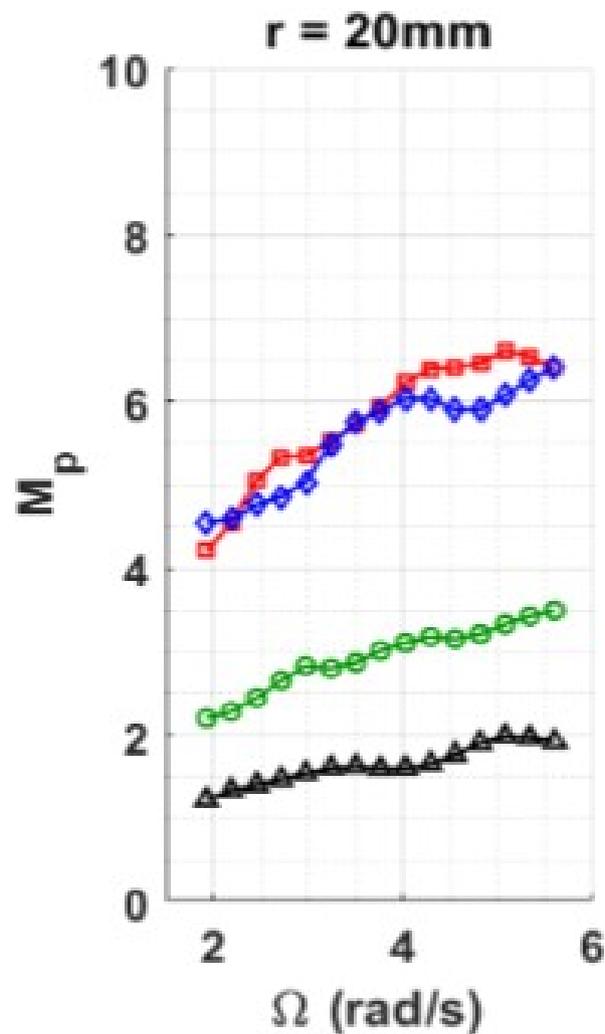
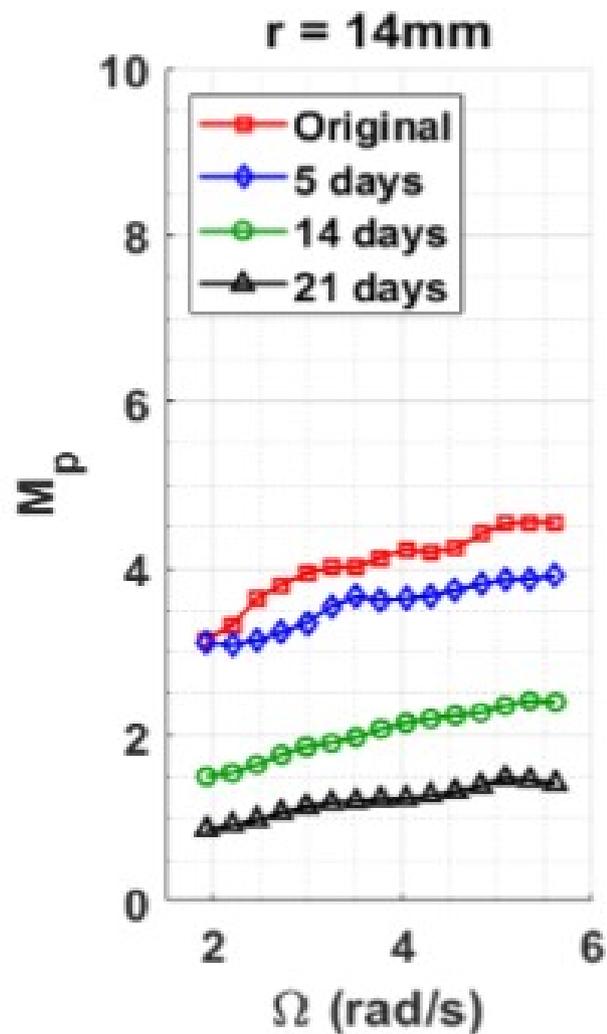
Por efecto de la degradación cambia λ

Properties	Original	5 days	14 days	21 days
$\mu_0(\text{Pa}\cdot\text{s})$	13.9	--	7.8	4.8
$\nu_0(\times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s})$	12.9	--	7.23	4.43
$\lambda(\text{s})$	15	--	7.3	5.5
$\text{Re}(\times 10^{-3})$	3.4 – 9.8	-- --	6.1 – 17.5	9.8 – 28.4
De	29 – 84	-- --	14 – 39	11 – 31
$\text{E}(\times 10^3)$	8.6	--	2.2	1.1



$$\lambda(t) = A + B \exp(-t/\tau_\lambda), \text{ with } \tau_\lambda = 14.4 \text{ days.}$$

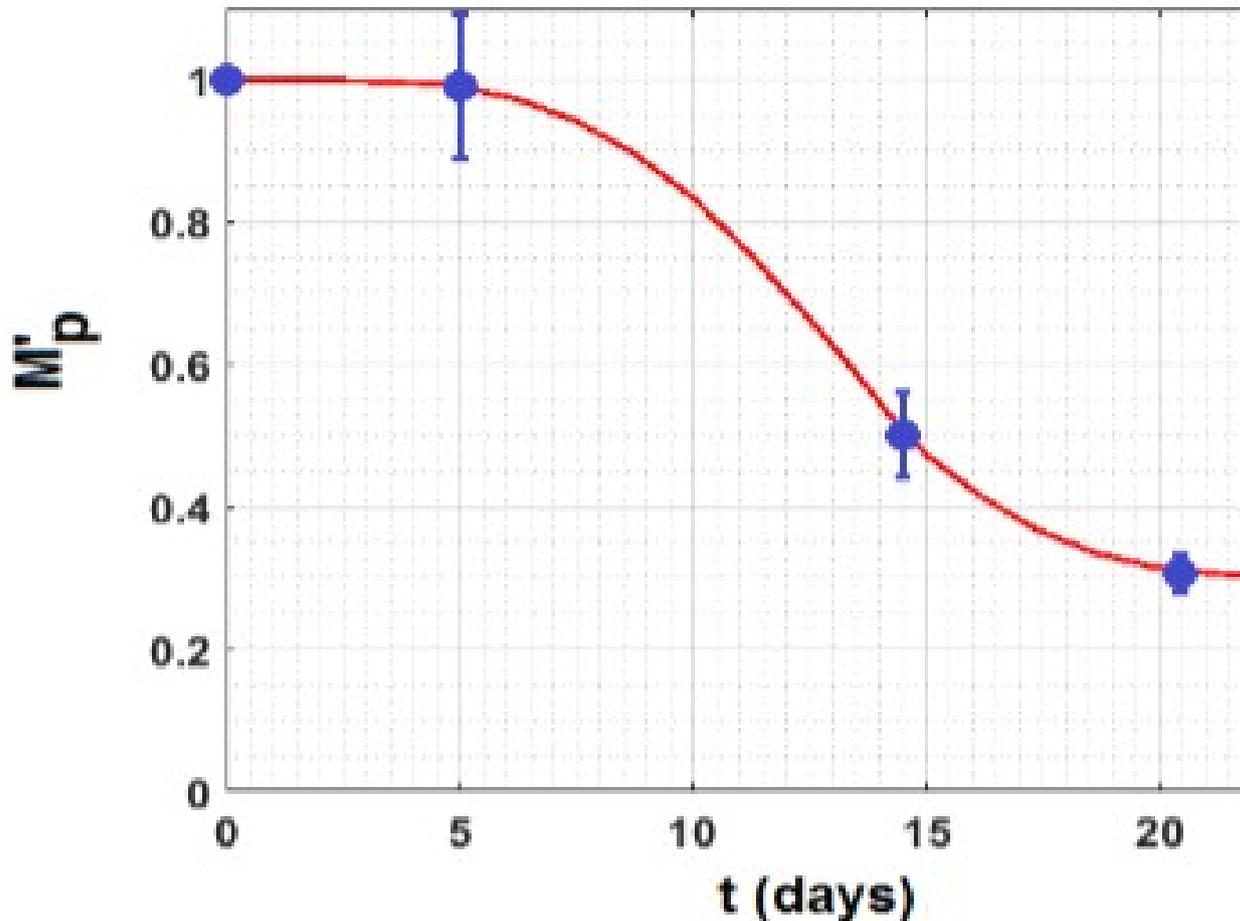
$$Mp' = Mp(t)/Mp(0),$$



$$M_p' = M_p(t)/M_p(0),$$

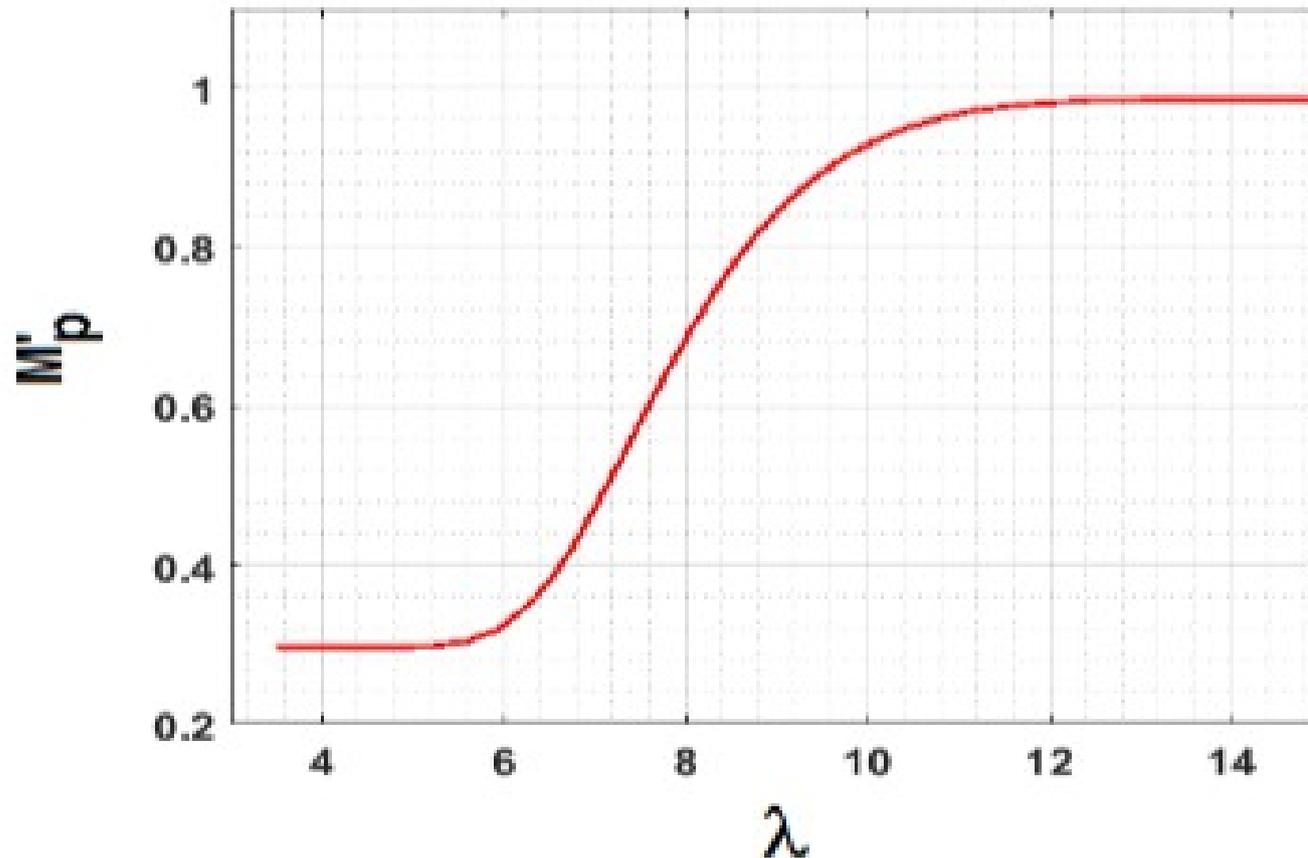
$$M_p' = C + D \exp(-(t/\tau_M)^a)$$

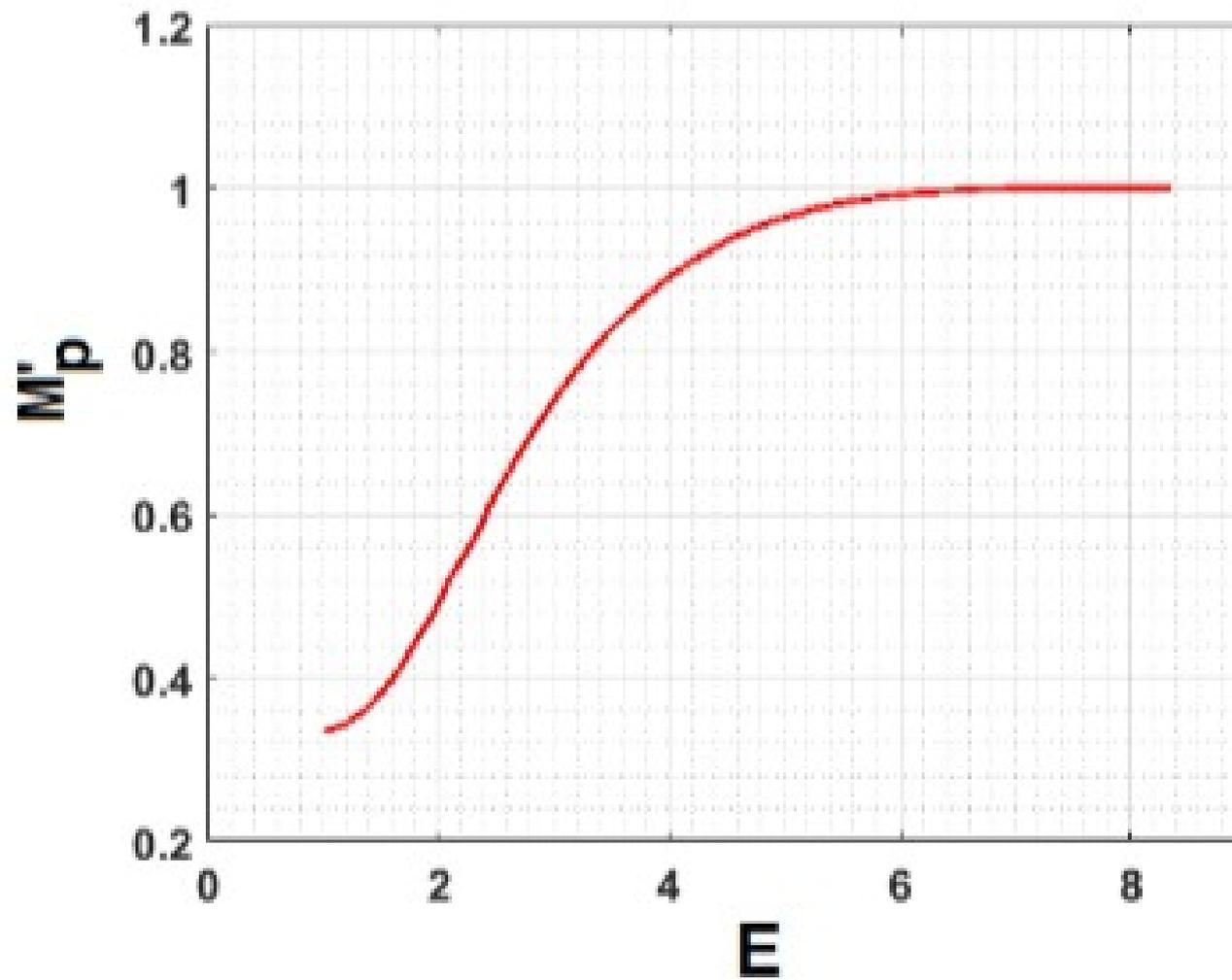
$$a = 4, \tau_M = 13.8 \text{ days.}$$



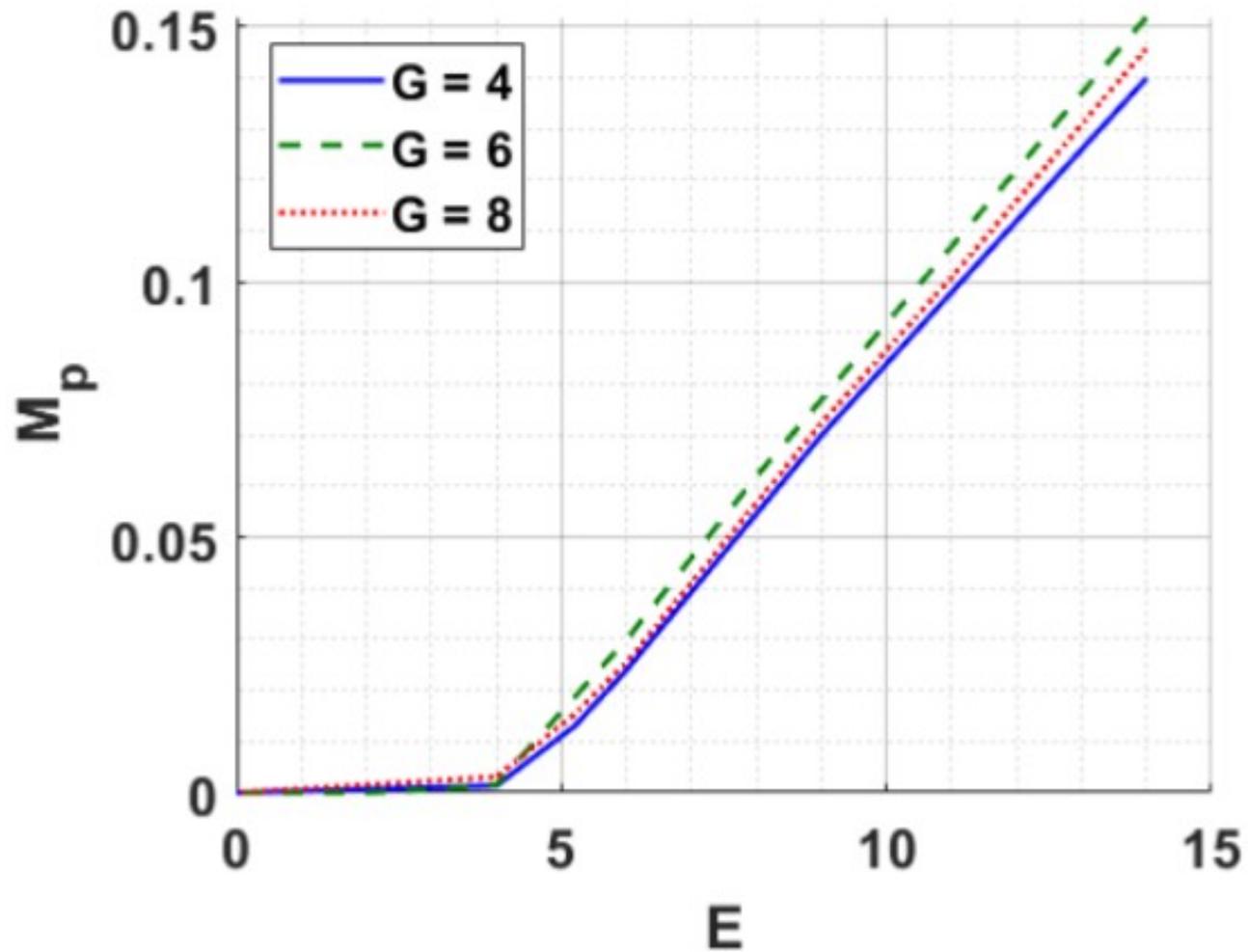
A los 21 días, todos los valores, para diferentes r , prácticamente recaen en la misma curva. Las barras indican desviación standard.

- Con los ajustes, se construyeron otras relaciones

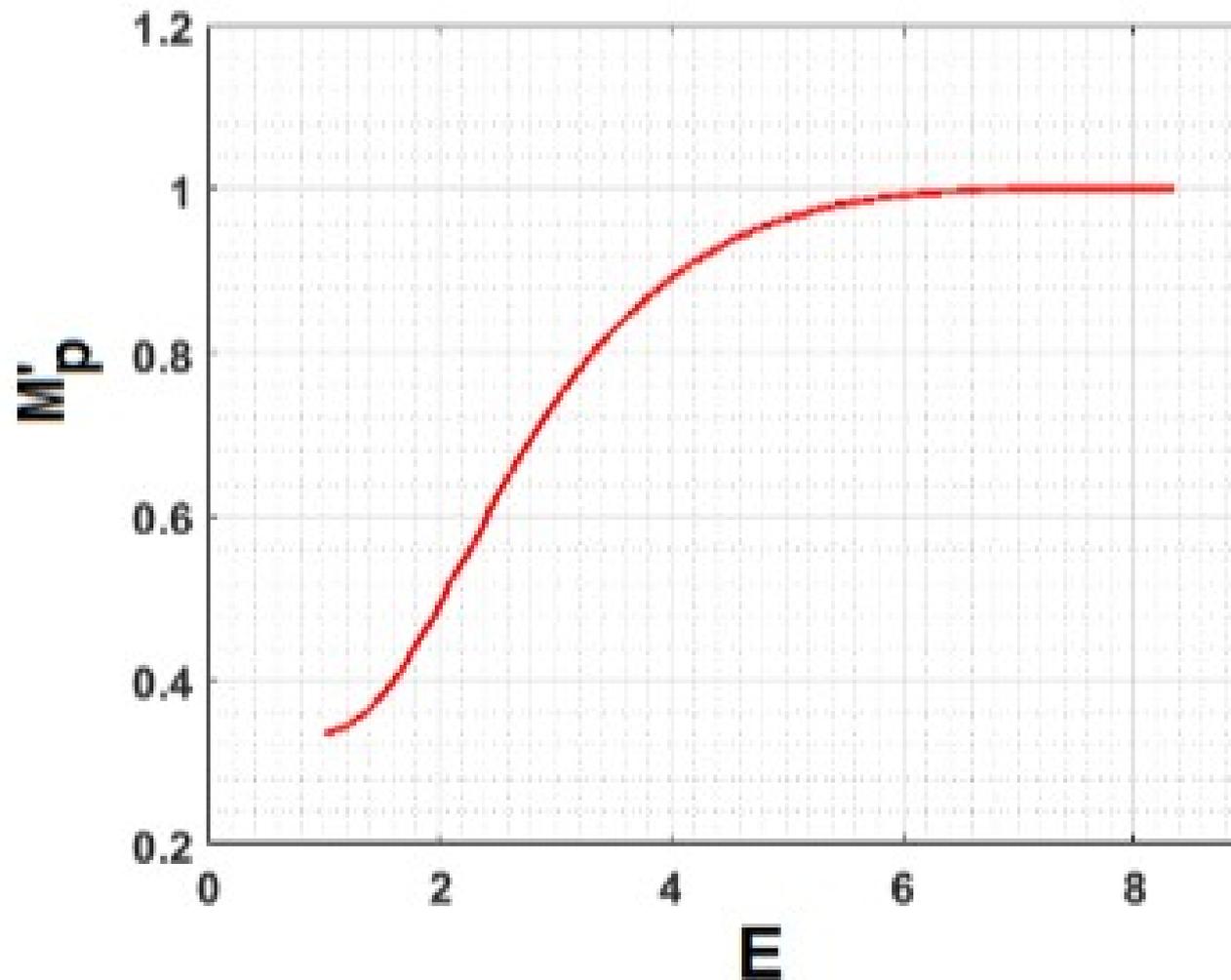




$$E = De / Re$$



Simulación con Oldroyd-b (sin shear-thinning)



La meseta a grandes E puede ser causado por el shear-thinning

- Los resultados indican que el overshoot M_p es un parámetro que puede ser útil para caracterizar el fluido.
- Hemos determinado una relación entre M_p y E .
- Trabajo futuro: ver cuán universal es esa relación.

- Aunque el shear-thinning es importante en el fenómeno, haciendo que importen adimensionales que tienen que ver con la variación de viscosidad, tal vez el overshoot relativo dependa básicamente de Re y De .

- Comentario: es similar cambiar las propiedades del fluido degradando o modificando el solvente?
- No son equivalentes. En el primer caso se cambia el tamaño de los polímeros, cambiando la longitud característica. En el segundo no sucede eso.

- Comentario: es similar cambiar las propiedades del fluido degradando o modificando el solvente?
- No son equivalentes. En el primer caso se cambia el tamaño de los polímeros, cambiando la longitud característica.
- Sin embargo podemos esperar que en principio estos efectos son de menor importancia, dado que en general Re y De son los parámetros más relevantes.

