

Rev.Téc.Ing., Univ.Zulia
Vol.4, N°s.1 y 2, 1981

MODELO GENERALIZADO DE COUETTE - EFECTOS TERMICOS

(Recibido el 24 de Octubre de 1980)

C. García - E. Gutiérrez
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia
Maracaibo - Venezuela

RESUMEN

El modelo generalizado de Couette presentado es adaptado a cualquier consideración de geometría del viscosímetro rotacional y efectos de la superficie libre del fluido muestra, permitiendo asimismo la calibración por aplicación directa sobre la ecuación diferencial de Couette. En combinación con el balance diferencial de energía bajo la condición térmica de temperatura constante a la pared, se introduce el diagrama de caracterización para la naturaleza viscosa entre el esfuerzo viscoso y el gradiente térmico.

Para la aplicación del Modelo Generalizado se utilizó un viscosímetro con control de temperatura adaptado y los resultados obtenidos sobre varios fluidos ofrecen nuevos criterios para la clasificación y determinación del carácter viscoso y su incorporación para transporte de calor será más real sobre el tratamiento clásico.

ABSTRACT

This paper summarizes the results of a generalized model on any rotational viscometer, taking into account the effects of the geometry and the free liquid surface of the sample fluid. The Couette differential equation can also be used to calibrate any rotational viscometer from the minimum data: torque-angular velocity. By combining the Couette equation with the heat balance equation results a new criteria for prediction the viscous nature between the shear stress and the thermal gradient.

INTRODUCCION

La necesidad de conocer el carácter reológico de un fluido, para poder diseñar el mecanismo de transporte a utilizar, ha hecho que se dediquen esfuerzos, para que mediante una mínima información de laboratorio pueda predecirse el comportamiento de dicho fluido. El presente trabajo combina un modelo teórico adaptado a la geometría de Couette y mediante pruebas experimentales se trata de establecer correlaciones entre el esfuerzo cortante a la pared y el gradiente de temperatura comparable a la relación esfuerzo cortante gradiente de velocidad. A nivel experimental se ensayaron con los siguientes fluidos: Crudo Boscán - Benzol en las proporciones volumétricas de 15,20 y 25% (v/v) del solvente; Bentonita - Agua en las composiciones porcentuales de 5, 6, 7, 8, 9 y 10% (p/v); y las soluciones de Polímero XC-Agua en las composiciones porcentuales de 0.25, 0.50, 0.75 y 1.00% (p/v).

La identificación viscosa para fluidos pseudoplásticos en las coordenadas esfuerzo cortante - gradiente de temperatura, de acuerdo a los resultados obtenidos, presenta la característica de alto valor del gradiente de temperatura a bajo valor del esfuerzo cortante y bajo valor del gradiente de temperatura a alto valor del esfuerzo cortante, con concavidad hacia arriba; situación contraria es señalada para fluidos dilatantes. Las gráficas de esfuerzo cortante - gradiente de temperatura para fluidos Newtonianos tienen la característica de ser lineal creciente.

FUNDAMENTOS TEORICOS

El viscosímetro de Couette consiste de dos cilindros coaxiales, conteniendo en la región anular el fluido de naturaleza viscosa desconocida. El cilindro exterior rota a velocidad angular constante y el fluido ejerce un momento sobre el cilindro interior. Bajo condiciones isotérmicas, estado estacionario, fluido incompresible y pu-

ramente viscoso, García et al. [1] desarrollaron un modelo matemático para correlacionar la información de laboratorio, velocidades angulares - torques:

1) Ecuación diferencial de Couette.

$$\left(- \frac{dV_{\theta}}{dr} \right)_{r=R_2} = - 3\lambda \frac{R_1^2}{\omega R_2^6} - \frac{3}{2} \frac{R_1^2}{R_2^2} \omega + 2 \frac{R_1^2}{R_2^2} \tau_1 \frac{d\omega}{d\tau_1} \quad (1)$$

2) Factor de la superficie libre del fluido.

$$\lambda = g \left[L (R_2^2 - R_1^2) - Z(R_2) R_2^2 - Z(R_1) R_1^2 \right] \quad (2)$$

el factor λ será cero solamente para $\omega = 0$

3) Relación esfuerzo cortante - torque axial.

$$\tau_1 = \frac{\zeta_z}{2 \pi R_1^2 L_e} \quad (3)$$

4) Los parámetros de superficie libre (λ) y longitud efectiva de mojado del fluido en el cilindro del viscosímetro (L_e) en función de un fluido Newtoniano de velocidad conocida a determinada temperatura:

L_e , Longitud efectiva de mojado:

$$L_e = \frac{\zeta_z (R_2^2 - R_1^2)}{4 \pi \mu \omega R_1^2 R_2^2} \quad (4)$$

λ , factor de la superficie libre:

$$\lambda = \frac{2}{3} \omega R_2^4 \tau_1 \frac{d\omega}{d\tau_1} - \frac{1}{3} \frac{\omega R_2^4 \tau_1}{\mu} - \frac{1}{2} \omega^2 R_2^4 \quad (5)$$

Los valores de λ y L_e evaluados a partir de la información de laboratorio velocidades angulares - torques para el fluido Newtoniano permiten calibrar el viscosímetro rotacional y la caracterización del comportamiento viscoso para fluidos no-Newtonianos.

5) Gradiente térmico para el viscosímetro de Couette.

Para la condición térmica de temperatura constante a la pared (T_ω) y bajo las condiciones de fluido isotrópico e incompresible, régimen estacionario, no hay fuente interna de calor a excepción de la disipación viscosa, perfil de velocidad unidimensional y flujo de calor unidimensional en la dirección angular (θ), el balance diferencial de energía resulta [2,3]:

$$\left(- \frac{dT}{d\theta} \right)_{r=R_2} = \frac{\tau_1}{\rho c p_1 T \omega} \frac{R_1^2}{R_2^2} \left[\omega + \left(- \frac{dV_\theta}{dh} \right)_{r=R_2} \right] \quad (6)$$

Los resultados de caracterización viscosa pueden representarse por los modelos de Oswald de Waele y Ellis respectivamente:

lubricante de turbina denominado Turbo - 21 (gravedad específica a 60°F igual a 0.866, viscosidad cinemática a 100°F igual a 32.10 Cs). Se ensayaron con los siguientes fluidos:

i) Crudo-Solvente, en las proporciones volumétricas de 5, 10, 15, 20 y 25% (V/V) de solvente. Se utilizó crudo pesado proveniente del Campo Boscán de 10.20°API a 60°F y viscosidad cinemática a 100°F igual a 18,210 Cs. De los solventes usados fueron Nafta pesada (gravedad específica a 75°F igual a 0,75, viscosidad cinemática a 100°F igual a 0.712 Cs), Kerosene (gravedad específica a 75°F igual a 0,848, viscosidad cinemática a 100°F igual a 2.468 Cs); ii) Polímero XC-Agua, en las composiciones porcentuales de 0.25, 0,50, 0,75 y 1.00 % (P/V) de polímero. El polímero XC es un polisacárido de alto peso molecular, fácilmente soluble en agua formando una solución viscosa, no-Newtoniana y de allí la derivación del nombre para el polímero XC; iii) Bentonita - Agua en las composiciones porcentuales de 5, 6, 7, 8, 9 y 10% (P/V) de bentonita (es tipo de arcilla de uso general en lodos de perforación). Las diferentes mezclas eran previamente agitadas hasta un volumen de 500 cc. El procedimiento experimental operaba a cada concentración de mezcla y temperatura de trabajo para diferentes velocidades angulares [4].

DISCUSION DE RESULTADOS

La longitud efectiva de mojado resulta diferente para cada fluido por los fenómenos de superficie, propiedades de expansión y distribución de velocidades (movimiento angular) unido a los efectos de convección (natural y forzada). Para valores promedios de longitud efectiva con velocidad angular, la dependencia con temperatura puede expresarse así:

$$\hat{l} = l_0 \left[1 + \alpha_1 (t - t_0) + \alpha_2 (t - t_0)^2 + \alpha_3 (t - t_0)^3 + \dots \right]$$

Para la calibración con el fluido Newtoniano (aceite Turbo-27), se presenta la siguiente variación:

l promedio pies	0.1432	0.1696	0.2257	0.2847	0.4388
temperatura, °C	21	40	65	80	100

donde la longitud estática de llenado del viscosímetro Fann es de 0.269 pies.

Las figuras N°s. 2 - 6 muestran el efecto de la concentración de la Nafta liviana sobre el comportamiento reológico de la mezcla Crudo Boscán - Nafta liviana a las temperaturas respectivas de 21, 40, 65, 80 y 100°C. El incremento del contenido del solvente y de la temperatura reduce la viscosidad aparente; la naturaleza es de carácter Newtoniano a las diferentes concentraciones y temperaturas dada por $\tau_{rz} = \mu \left(- \frac{dv_z}{dr} \right)$, donde $\mu = f(cT)$. La disminución de la viscosidad aparente por efecto del solvente puede apreciarse claramente en la Fig. N°3 por ejemplo para una tasa de deformación de 50 seg^{-1} se requieren esfuerzos cortantes de $0.19 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$ para 25% del solvente, $0.40 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$ para 15% del solvente y $1.35 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$ para 10% del solvente. A bajas concentraciones del solvente resultan bajas tasas de deformación y altos valores de esfuerzos cortantes, mientras para valores de concentraciones del solvente sobre 10% la deformación se acentúa con disminución de la viscosidad aparente para el mismo rango de velocidades angulares. A 65°C, para una tasa de deformación de 50 seg^{-1} se requieren esfuerzos cortantes de $0.08 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$ para 25% del solvente, $0.130 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$ para 20% del solvente, $0.24 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$ para 15% del solvente y $0.45 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$ para 10% del solvente. El efecto del solvente a la temperatura del laboratorio (21°C) expresado por ejemplo como reducción de viscosidades entre 10% y 25% del solvente, resulta del 89%; mientras la reducción de viscosidades para la mezcla Crudo-Boscán - Nafta liviana al 10% entre 21°C y 65°C resulta del 94%. El modelo matemático presentado produce resultados

GRAFICA No. 14 $(-\partial T/\partial e)_{r=R_2}$ en función de la Temperatura.

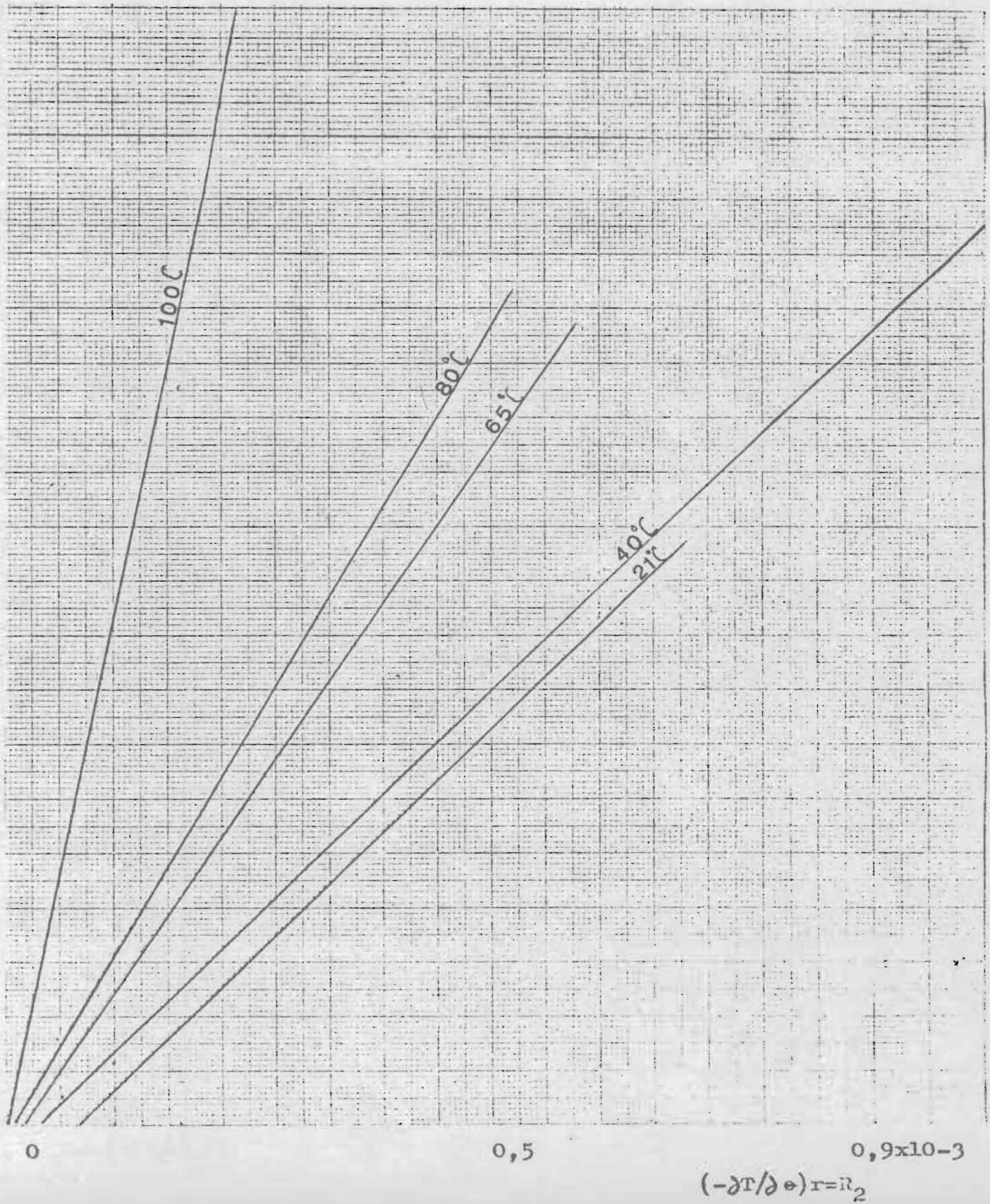
Mezcla: Crudo-Kerosen

Concentración del solvente: 20 %

TW2NN

2

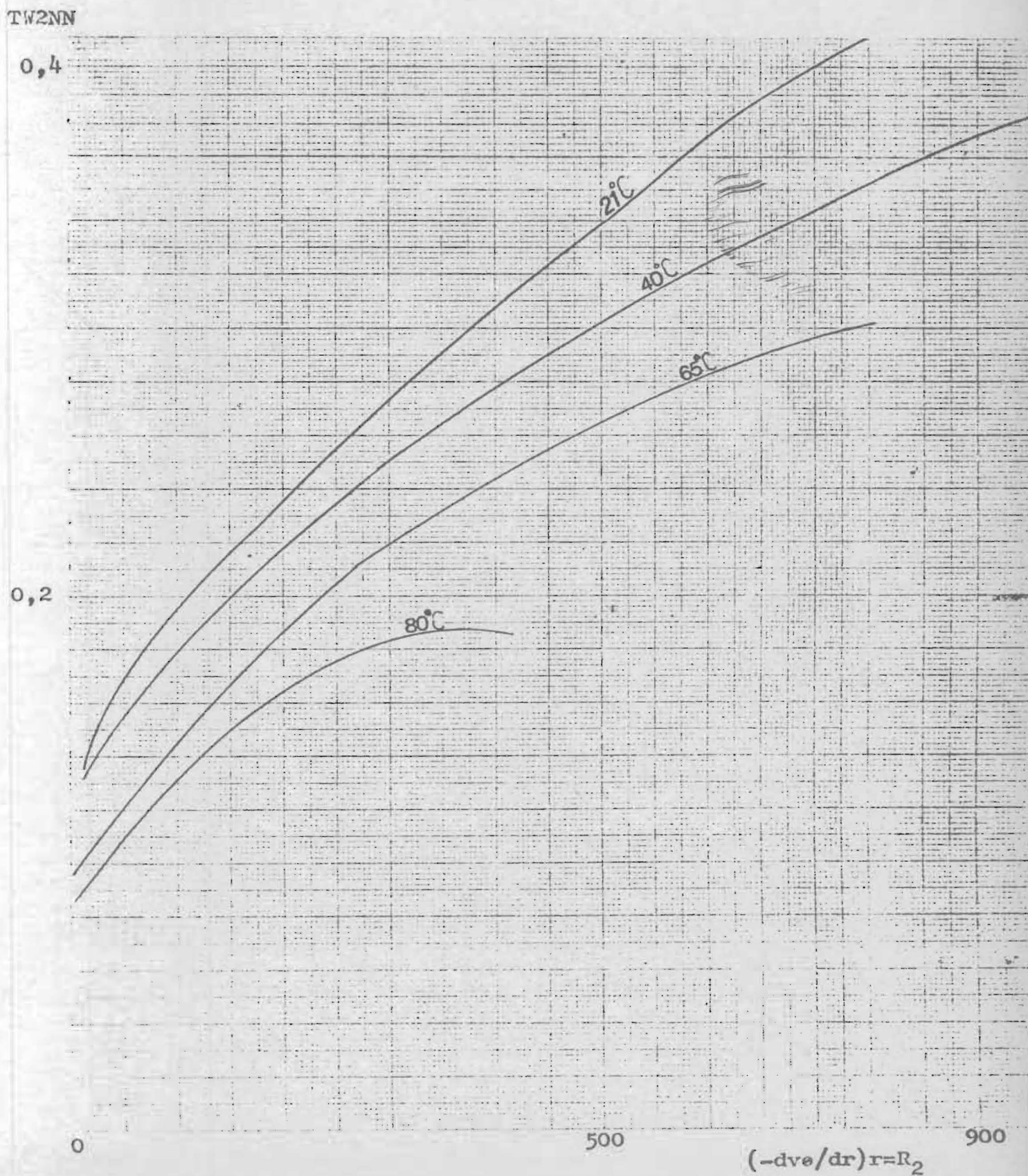
1



GRAFICA No. 13 Comportamiento Reológico en función de la temperatura.

Mezcla: Agua-Bentonita.

Concentración del soluto: 8 %

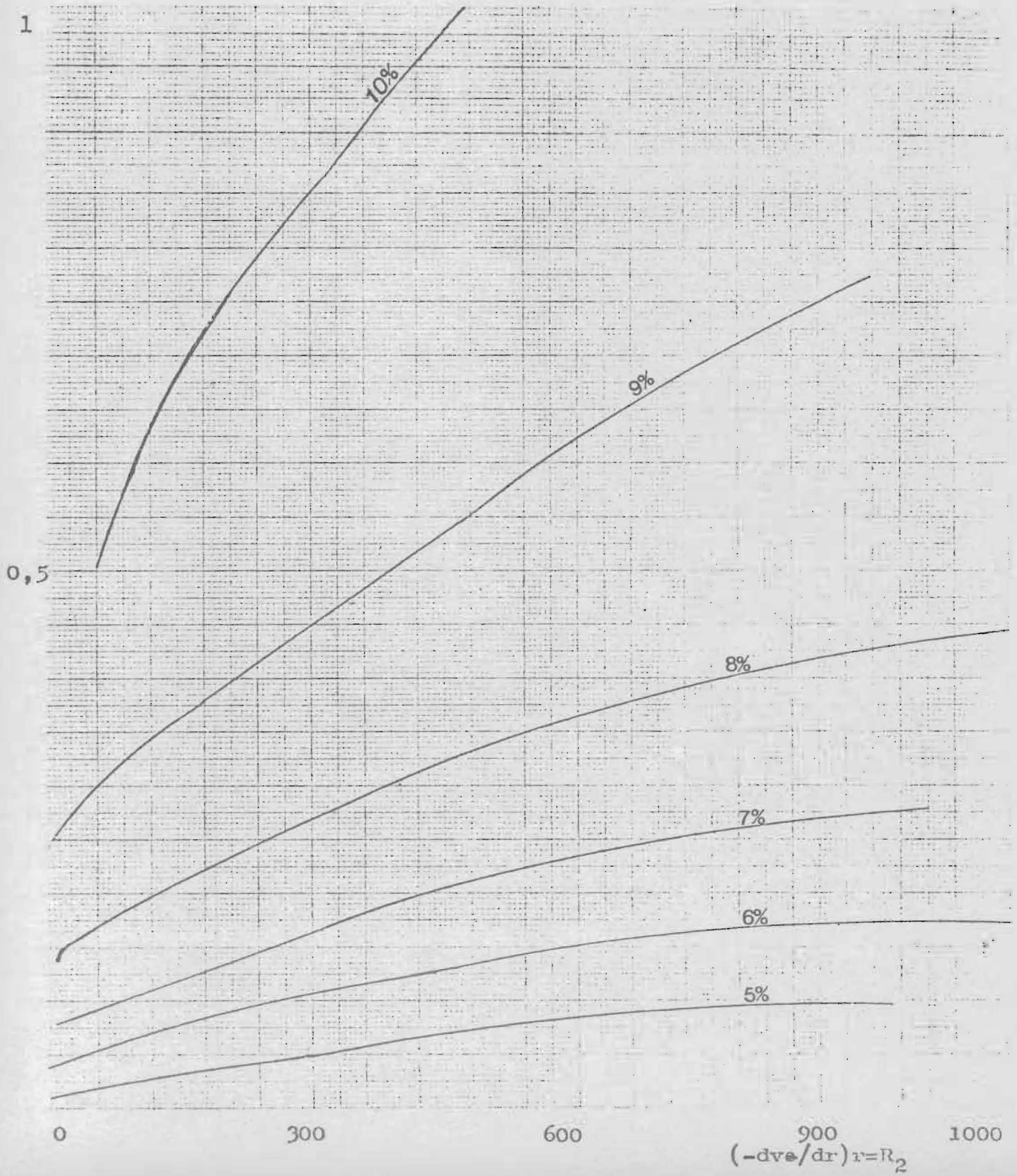


GRAFICA No. 12 Comportamiento Reológico en función de la concentración.

Mezcla: Agua-Bentonita.

Temperatura: 21°C.

TW2NN

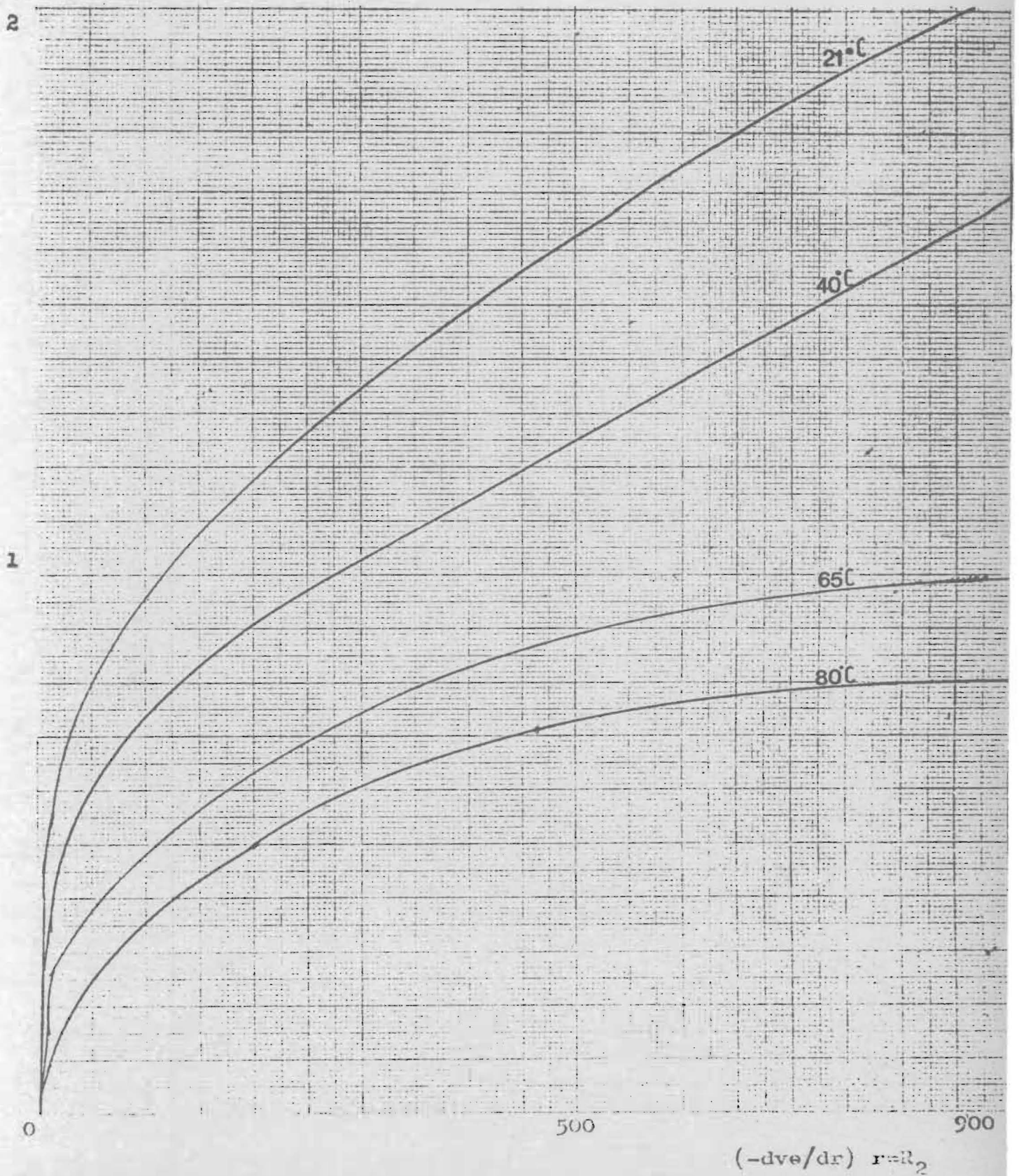


GRAFICA No. 11 Comportamiento Reológico en función de la Temperatura.

Mezcla: Polimero Xc-Agua

Concentración del soluto: 0,50 %

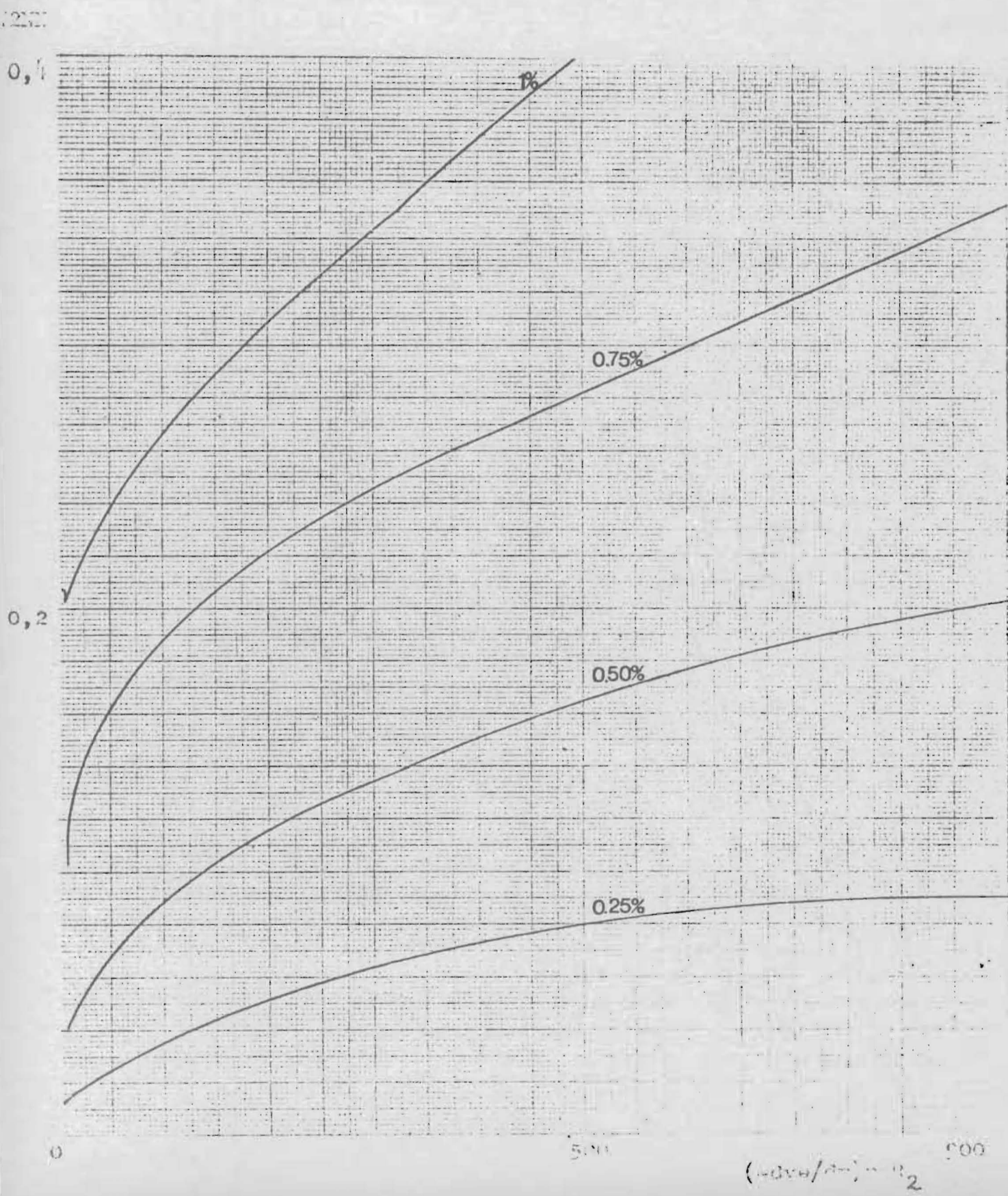
TW2EN



GRAFICA No. 10 Comportamiento Reológico en función de la Concentración.

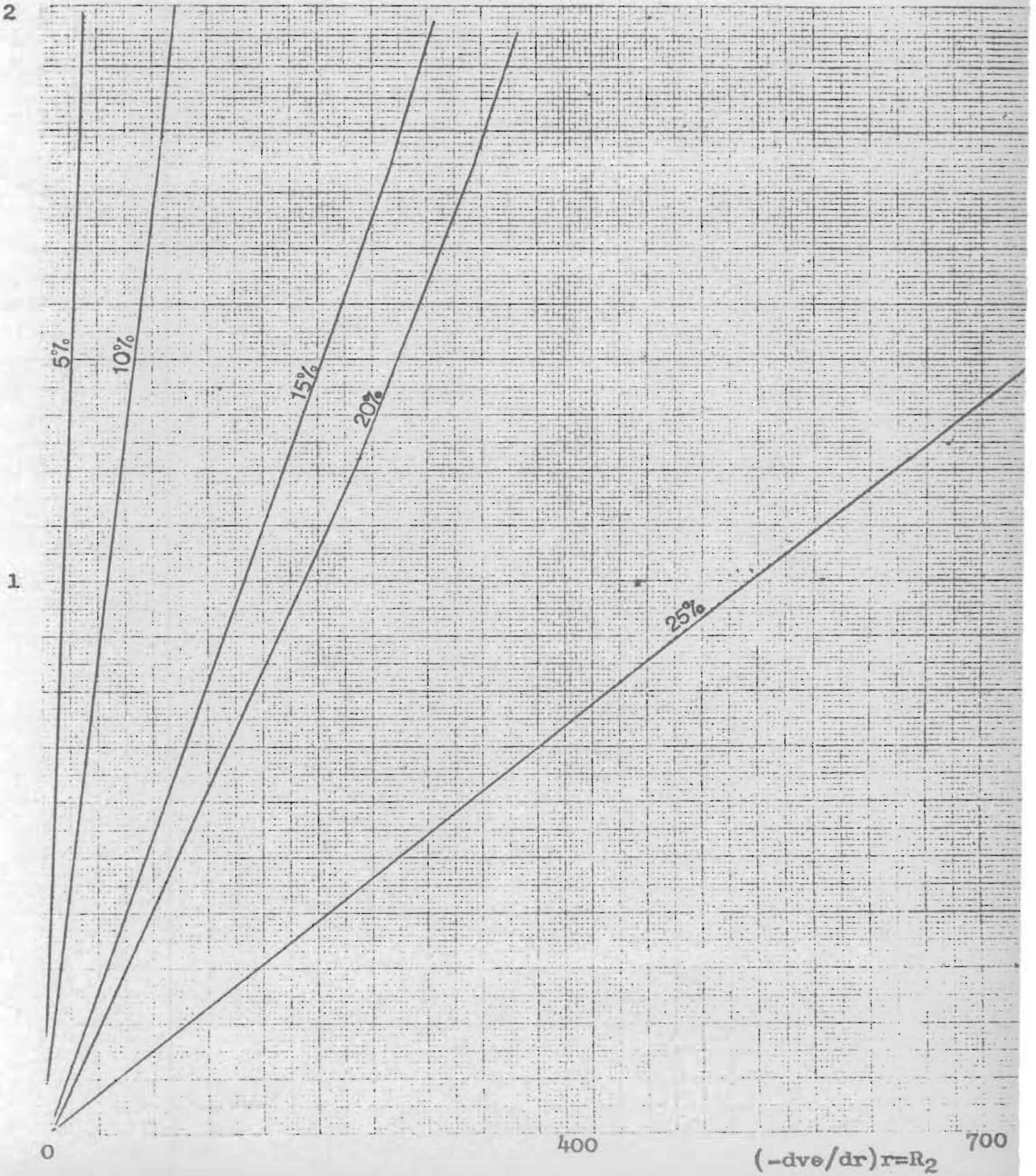
Mezcla: Polimero Xc-Agua

Temperatura: 21°C



GRAFICA No. 9 Comportamiento Reológico en
función de la concentración.
Mezcla: Crudo-Benzol.
Temperatura: 40°C.

TW2NN

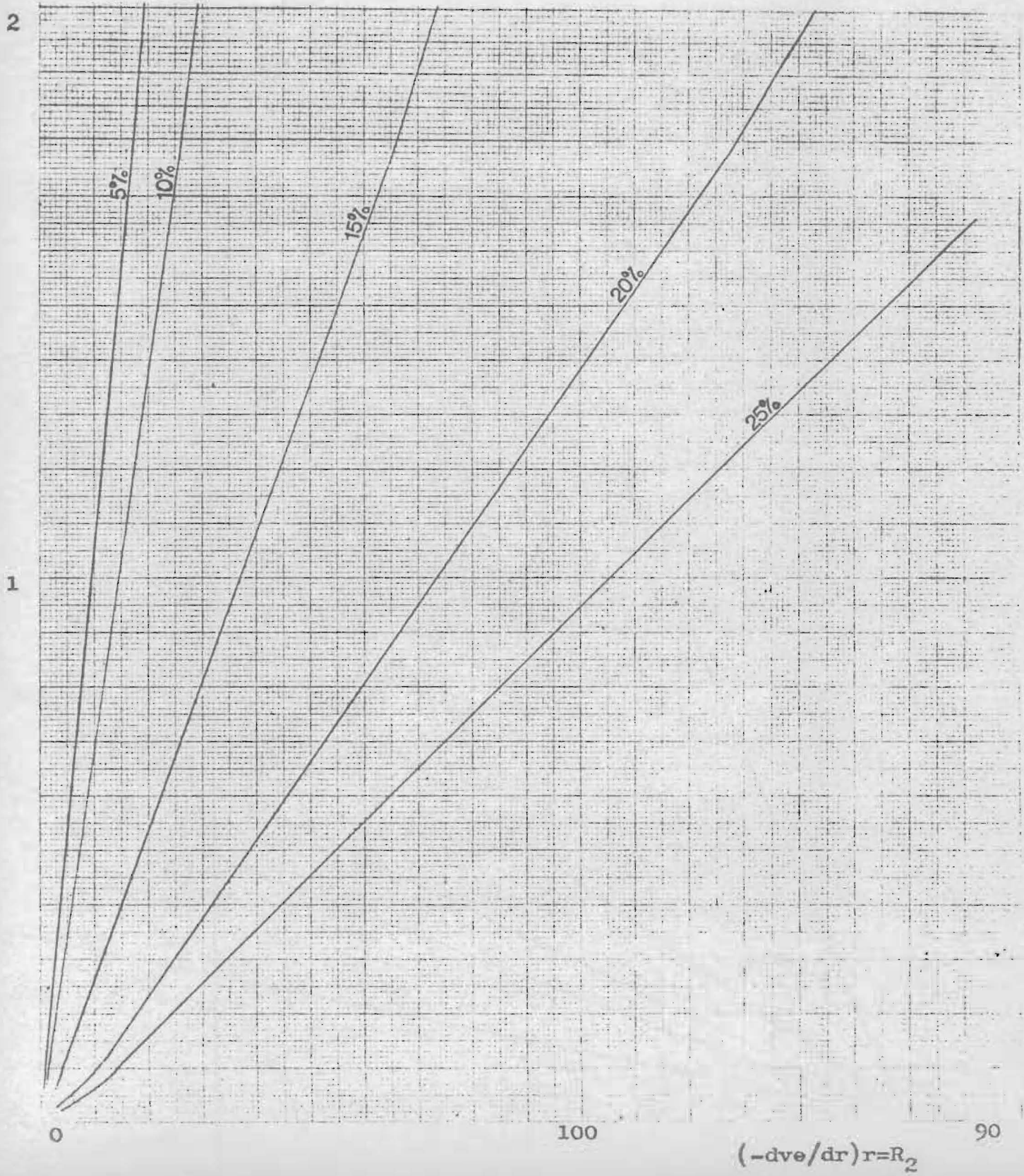


GRAFICA No. 8 Comportamiento Reológico en función de la concentración.

Mezcla: Crudo-Kerosen.

Temperatura: 40°C.

TW2NN

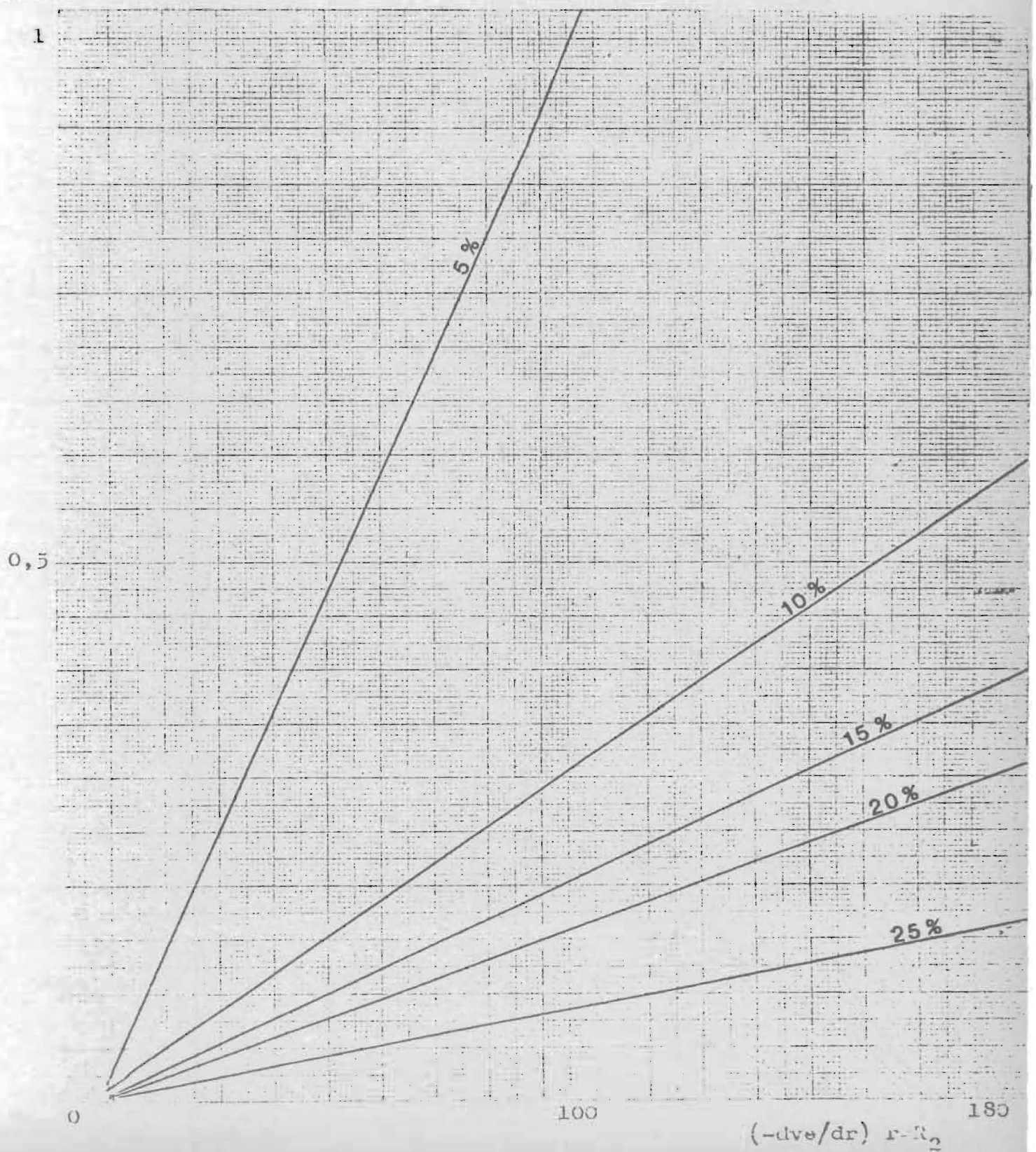


GRAFICA No. 7 Comportamiento Reológico en función de la concentración.

Mezcla: Crudo-Nafta Pesada.

Temperatura: 30°C

TW2N7



GRAFICA No. 6 Comportamiento Reológico en función de la concentración.
Mezcla: Crudo-Nafta liviana.
TEMPERATURA: 100°C

TW2NN

