

# Propiedades mecánicas locales del PMMA

Resumen de resultados

07/12/2018

# Elaboración de los films: *spin coater*

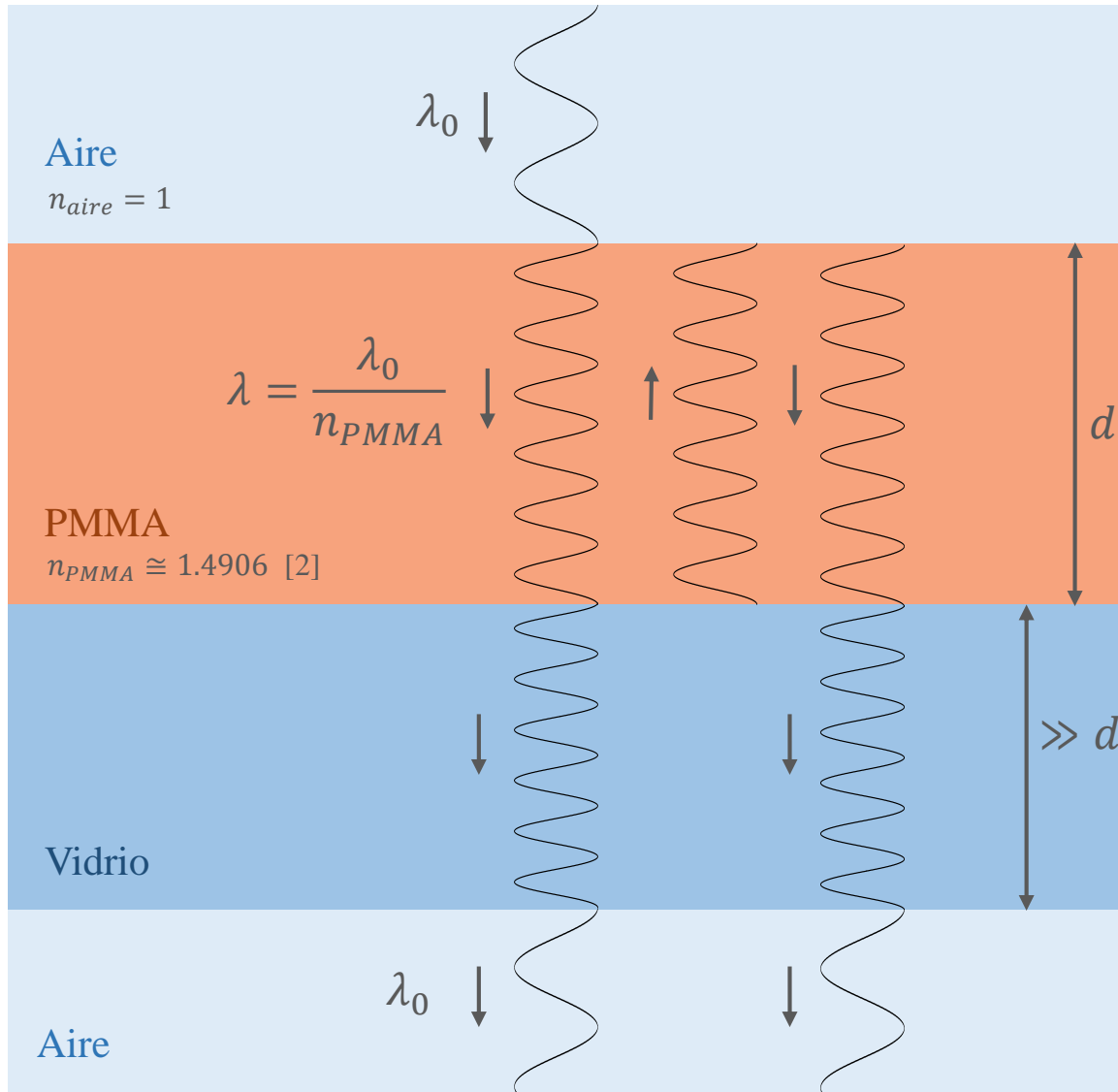
Se elaboraron 5 muestras depositando PMMA al 10% sobre sustratos de vidrio (portamuestras) de 2.5 x 2.5 cm.

Parámetros relevantes (*spin coater*):

- Tiempo de giro: 1 min
- Revoluciones por minuto (rpm): 2k, 3k, 4k, 5k y 6k.

El polímero se deposita directamente sobre el sustrato mientras este se encuentra girando (así se logra una lámina lo más homogénea posible), utilizando una pipeta.

# Espesor de los films de PMMA: Método de medición



La diferencia de camino óptico entre el haz que se transmite directamente y el haz que se transmite luego de dos reflexiones internas en el film es  $2d$ . La superposición de ambas ondas nos da el patrón de interferencia. La absorción estará modulada por:

$$Abs(\lambda) \sim \cos(2\pi vt) = \cos\left(2\pi \frac{2d}{\lambda}\right) = \cos\left(4\pi d \frac{n_{PMMA}}{\lambda_0}\right)$$

El índice de refracción depende de la longitud de onda  $n = n(\lambda)$  (ver ref. [2]), aunque podemos considerarlo aproximadamente constante ya que:

$$\Delta n_{PMMA} = n(\lambda = 450 \text{ nm}) - n(\lambda = 1000 \text{ nm}) \cong 0.017$$

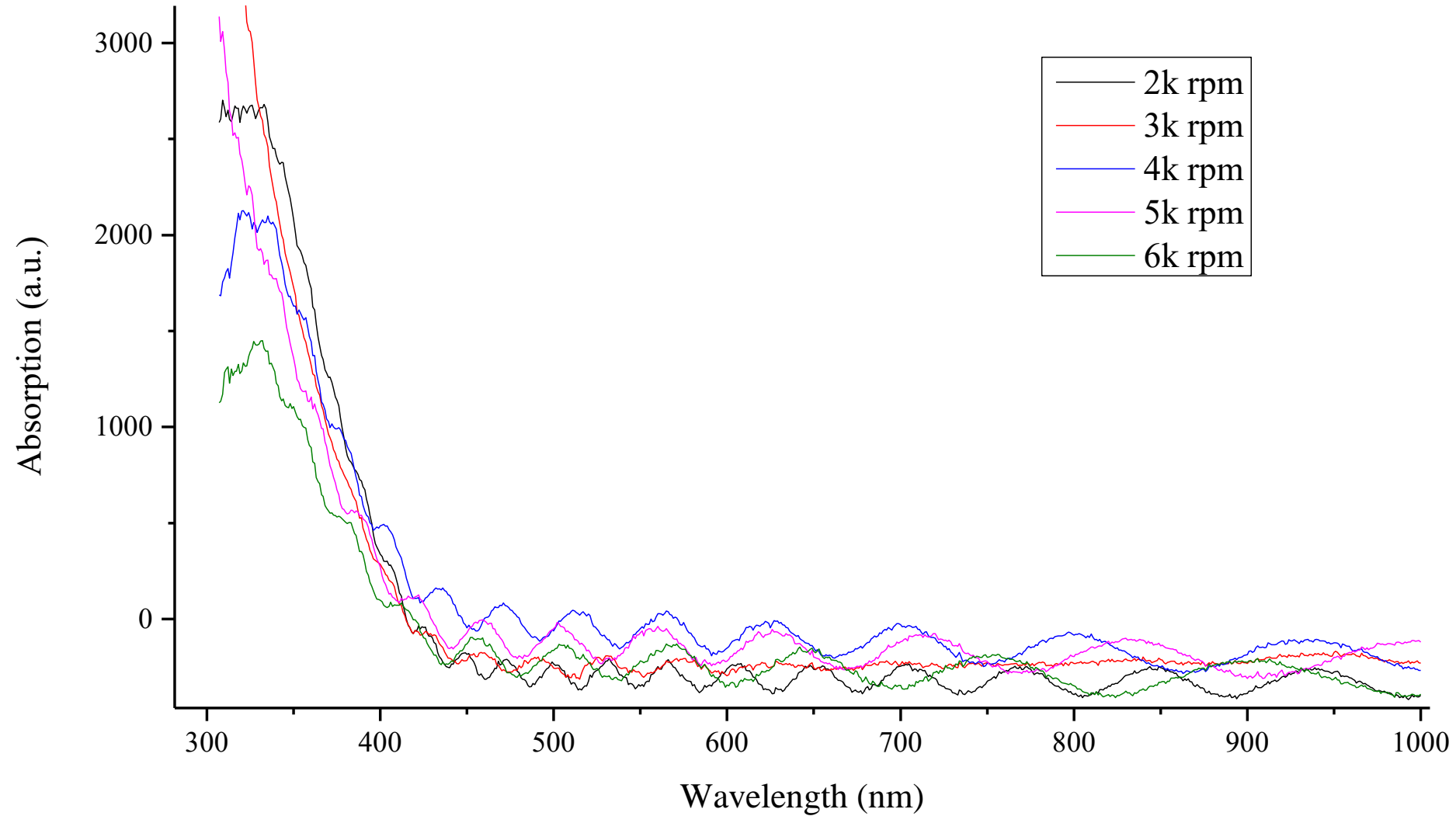
La **figura** muestra el caso en el que la diferencia de camino óptico entre un haz y otro es proporcional a la longitud de onda, por lo que ambas ondas están en fase y se tiene interferencia constructiva.

Observación: El vidrio también genera este fenómeno de interferencia, aunque no es observable porque el espesor es al menos 3 ordenes de magnitud mayor que el del film de polímero, y la absorción total del vidrio es mucho mayor a la absorción total del film.

[1] <https://wcam.engr.wisc.edu/Public/Tools/Analysis/Filmetrics%20F20%20technical%20reference.pdf>

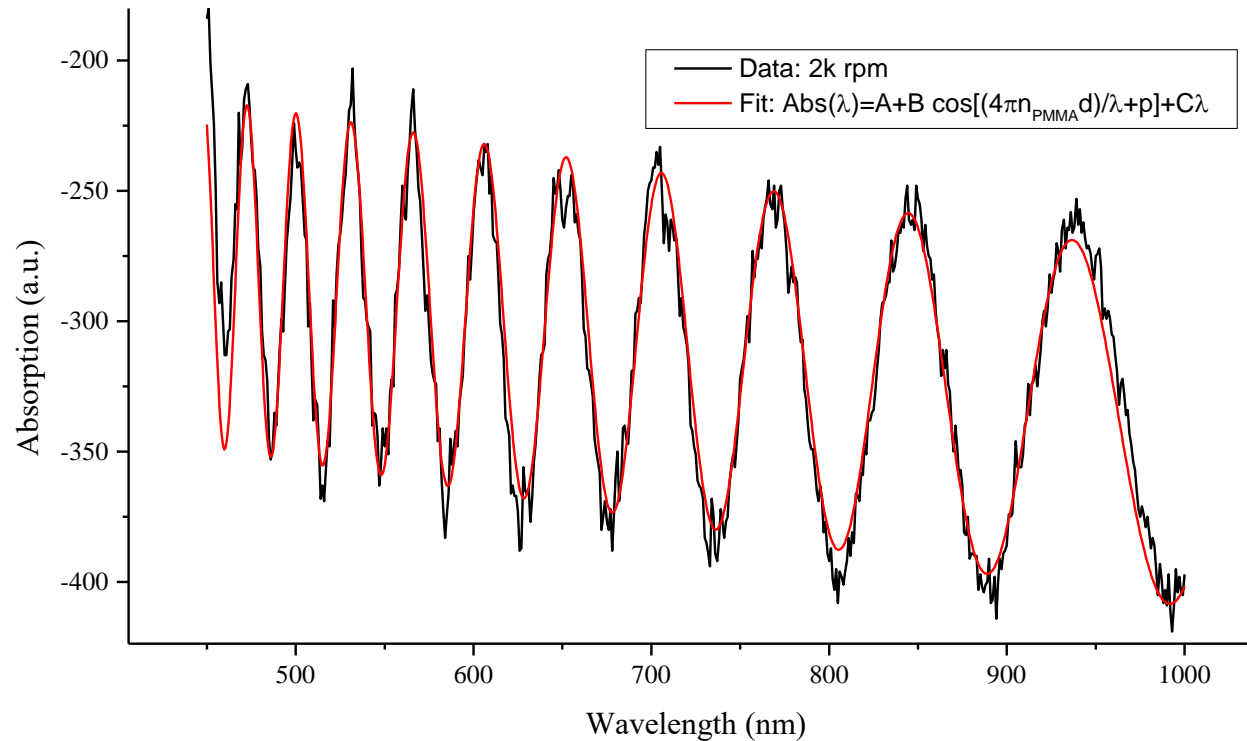
[2] [https://refractiveindex.info/?shelf=organic&book=poly\(methyl\\_methacrylate\)&page=Szczurowski](https://refractiveindex.info/?shelf=organic&book=poly(methyl_methacrylate)&page=Szczurowski)

# Espectros de absorción medidos para diferentes films (diferentes rpm)



# Espesor de los films de PMMA: Ajustes

En base a lo anterior, podemos ensayar la siguiente función de ajuste:  $Abs(\lambda) \sim A + B \cos\left(4\pi d \frac{n_{PMMA}}{\lambda} + p\right) + C \lambda$



$$n_{PMMA} = 1.4906$$

Fase constante

Agrego este término para restar el fondo y mejorar el ajuste.

Parámetros resultantes del ajuste:

$$A = -(231.2 \pm 2.6) \text{ a. u.}$$

$$B = -(66.7 \pm 1.0) \text{ a. u.}$$

$$d = (2878.6 \pm 1.9) \text{ nm} \quad \rightarrow \text{Espesor estimado del film}$$

$$p = (2.14 \pm 0.05) \text{ rad}$$

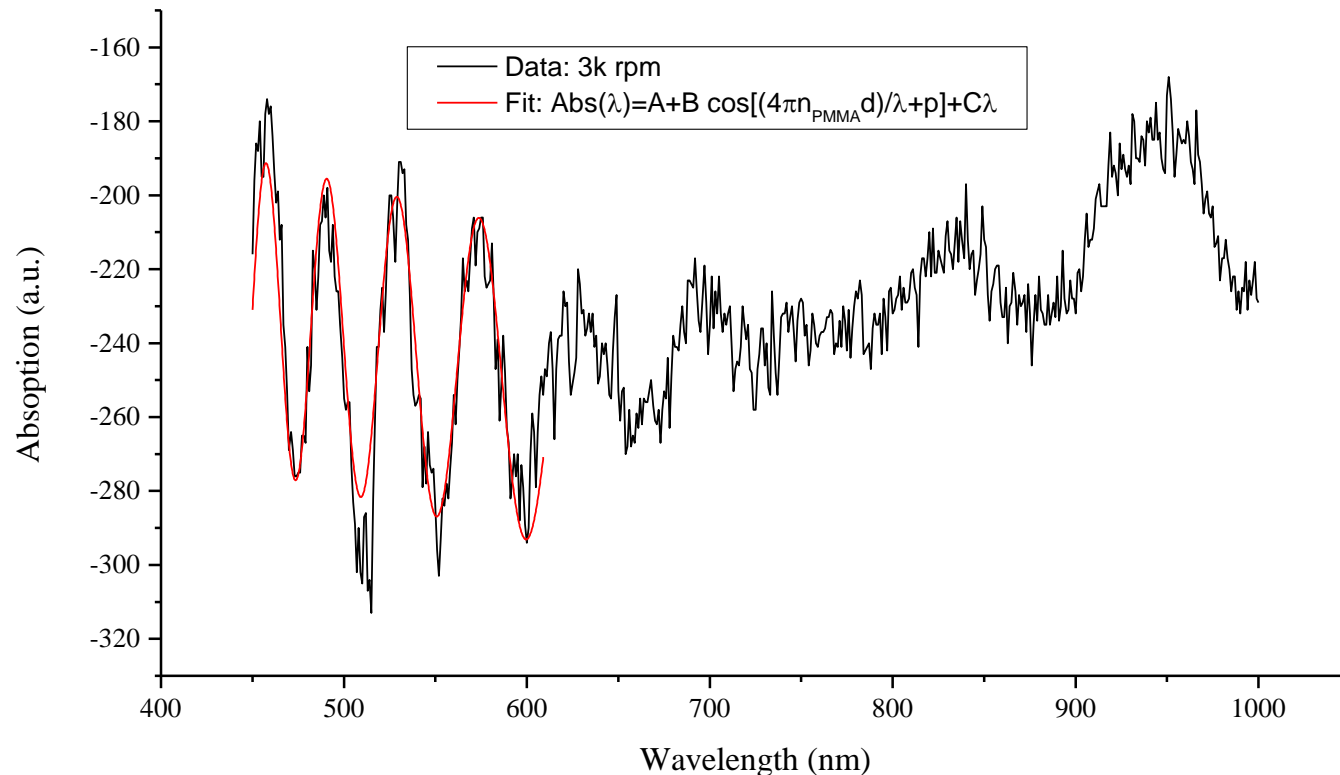
$$C = -(0.111 \pm 0.004) \frac{\text{a. u.}}{\text{nm}}$$

$$R^2 \cong 0.94$$

**Nota:** se considera el error de cada parámetro como el error estándar del ajuste.

**Figura 2.** Espectro de absorción del film de PMMA depositado por *spin-coater* utilizando 2k rpm y su correspondiente ajuste.

# Espesor de los films de PMMA: Ajustes



Parámetros resultantes del ajuste:

$$A = -(175 \pm 12) \text{ a. u.}$$

$$B = -(41.9 \pm 3.6) \text{ a. u.}$$

$$d = (2268 \pm 12) \text{ nm} \quad \rightarrow \text{Espesor estimado del film}$$

$$p = -(8.0 \pm 0.4) \text{ rad}$$

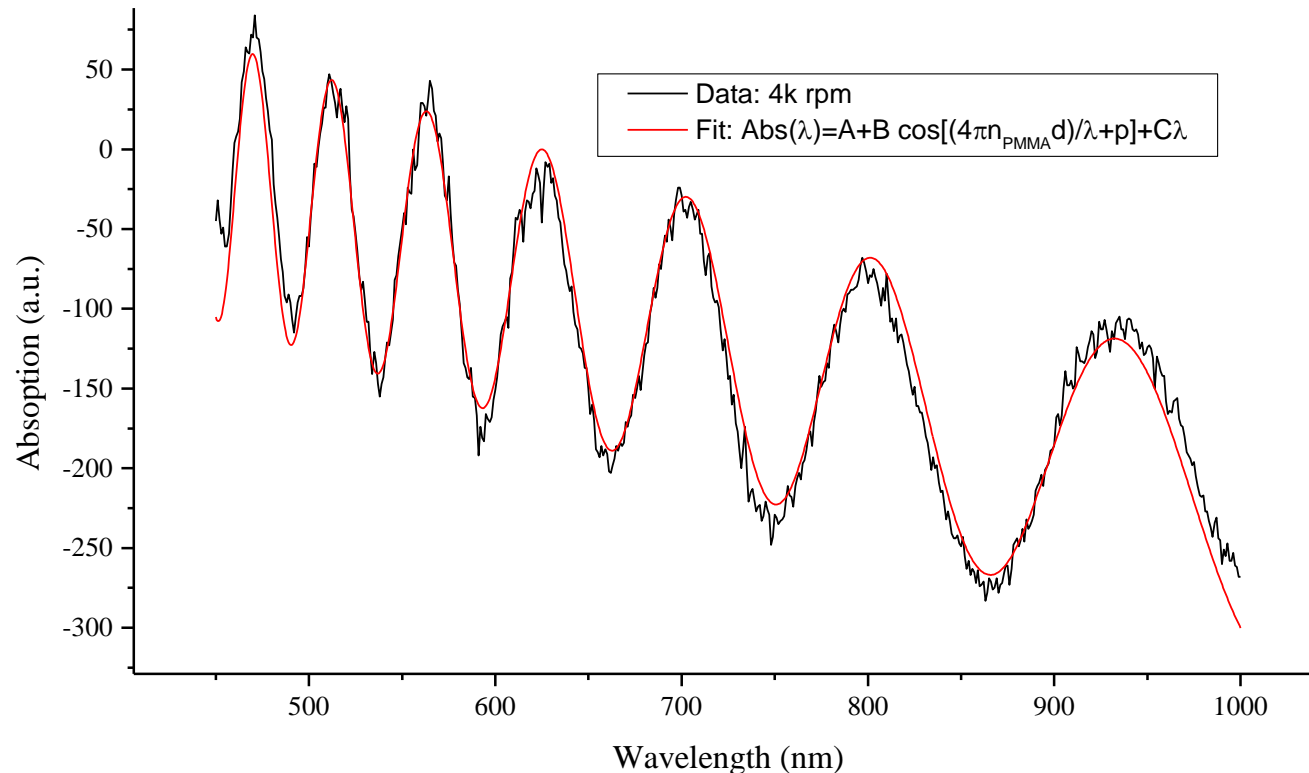
$$C = -(0.13 \pm 0.02) \frac{\text{a. u.}}{\text{nm}}$$

$$R^2 \cong 0.85$$

En este caso no se consideraron todos los datos ya que la estructura de la señal se desvía del modelo propuesto para el ajuste funcional. Aún así el valor que se obtiene para el espesor a partir del ajuste parcial de los datos es razonable.

**Figura 3.** Espectro de absorción del film de PMMA depositado por *spin-coater* utilizando 3k rpm, junto al ajuste parcial de los datos.

# Espesor de los films de PMMA: Ajustes



Parámetros resultantes del ajuste:

$$A = (153.1 \pm 3.0) \text{ a. u.}$$

$$B = -(87.3 \pm 1.0) \text{ a. u.}$$

$$d = (1901 \pm 2) \text{ nm} \quad \rightarrow \text{Espesor estimado del film}$$

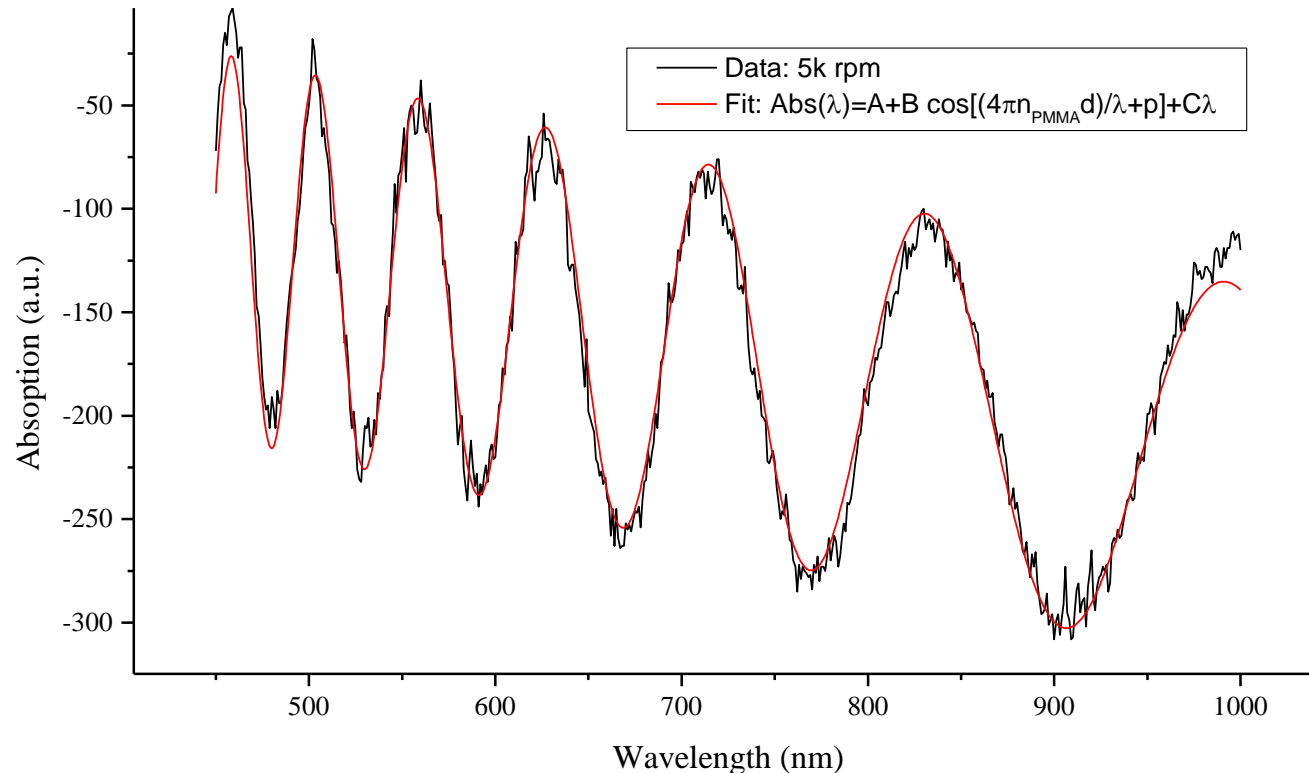
$$p = (2.75 \pm 0.05) \text{ rad}$$

$$C = -(0.385 \pm 0.004) \frac{\text{a. u.}}{\text{nm}}$$

$$R^2 \cong 0.97$$

**Figura 4.** Espectro de absorción del film de PMMA depositado por *spin-coater* utilizando 4k rpm, junto al correspondiente ajuste.

# Espesor de los films de PMMA: Ajustes



Parámetros resultantes del ajuste:

$$A = -(25.1 \pm 2.0) \text{ a. u.}$$

$$B = -(92.5 \pm 0.7) \text{ a. u.}$$

$$d = (1713.5 \pm 1.2) \text{ nm} \rightarrow \text{Espesor estimado del film}$$

$$p = -(4.05 \pm 0.03) \text{ rad}$$

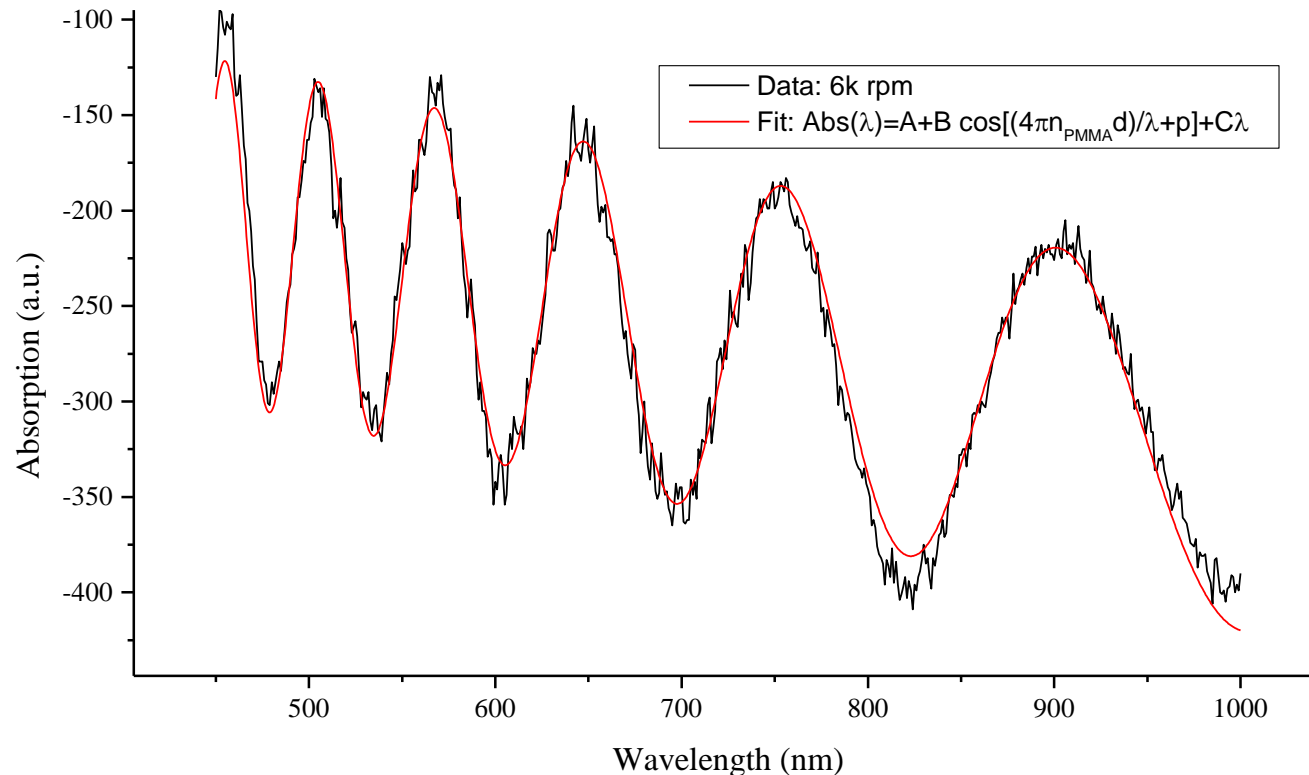
$$C = -(0.204 \pm 0.003) \frac{\text{a. u.}}{\text{nm}}$$

$$R^2 \cong 0.98$$

**Figura 5.** Espectro de absorción del film de PMMA depositado por *spin-coater* utilizando 5k rpm, junto al correspondiente ajuste.



# Espesor de los films de PMMA: Ajustes



Parámetros resultantes del ajuste:

$$A = -(111.5 \pm 2.6) \text{ a. u.}$$

$$B = (89.5 \pm 0.9) \text{ a. u.}$$

$$d = (1538.8 \pm 1.4) \text{ nm} \rightarrow \text{Espesor estimado del film}$$

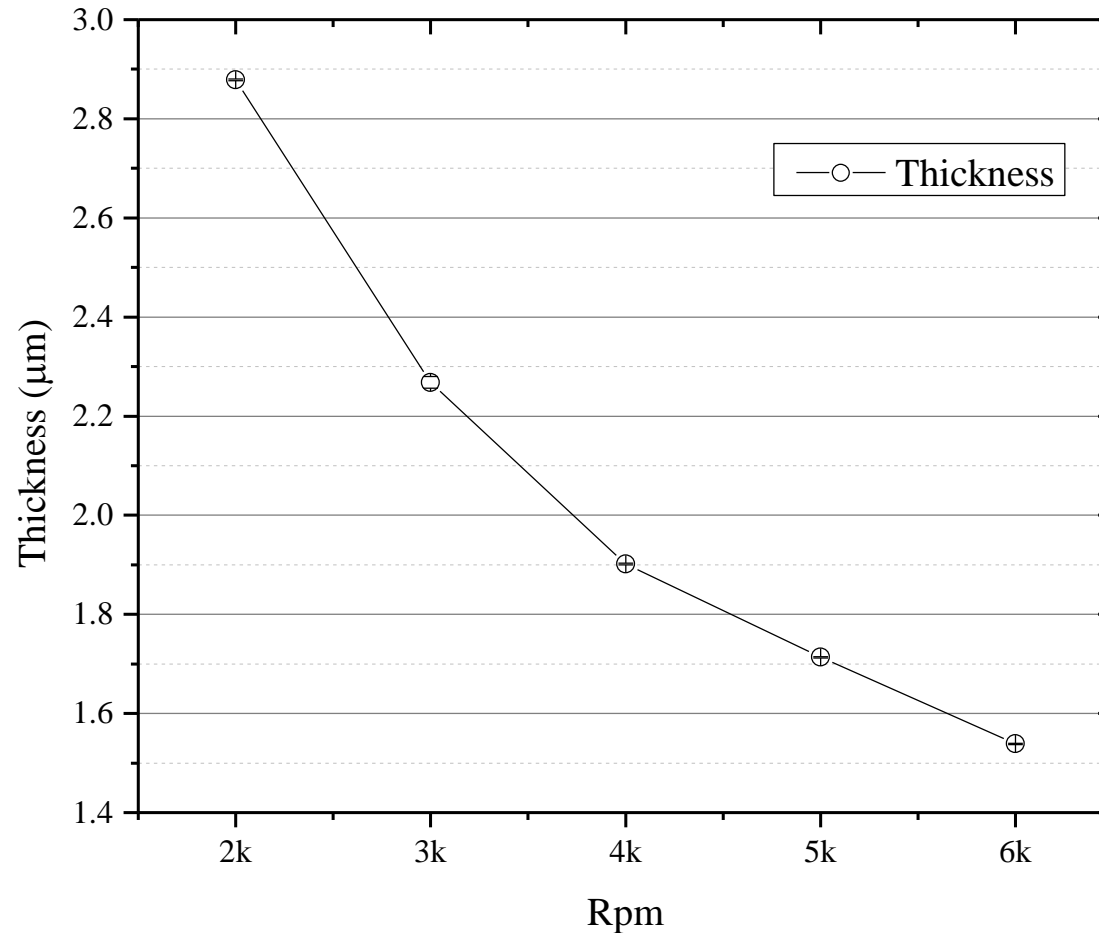
$$p = -(0.52 \pm 0.04) \text{ rad}$$

$$C = -(0.219 \pm 0.004) \frac{\text{a. u.}}{\text{nm}}$$

$$R^2 \cong 0.97$$

**Figura 6.** Espectro de absorción del film de PMMA depositado por *spin-coater* utilizando 6k rpm, junto al correspondiente ajuste.

# Espesor de los films de PMMA: Resultados



Rpm	Espesor (μm)	SE (nm)
2k	2.8786	1.9
3k	2.268	12
4k	1.9015	1.7
5k	1.7135	1.2
6k	1.5388	1.4

**Tabla 1.** Datos correspondientes a la Figura 7.

Considerando un error  $\sigma_n \cong 0.02$  para el índice de refracción del PMMA (que consideramos fijo para el ajuste), se introduce un error adicional (además del error propio del ajuste por mínimos cuadrados). El error estimado para el espesor de la lámina de PMMA en todos los casos (ver Anexo) es:

$$\sigma_d \lesssim 0.02 \mu m$$

**Figura 7.** Espesor de la lámina de PMMA como función de las rpm utilizadas con el *spin-coater*. Los datos provienen del ajuste de los espectros de absorción.

# Anexo: Errores

Como se fijó el índice de refracción del PMMA, podemos considerar como parámetro de ajuste el producto  $d \cdot n_{PMMA}$ . Sabemos que existe un error por fijar el valor del parámetro  $n_{PMMA}$ , y que este error se propaga al parámetro de ajuste  $d$ .

Tenemos entonces que:

$$(n \pm \sigma_n)(d \pm \sigma_d) = c \pm \sigma_c \longrightarrow$$

Donde el parámetro  $c$  (constante) es el que se obtiene del ajuste por mínimos cuadrados. El error asociado es el error estándar del ajuste.

De acuerdo a [2] tenemos que  $\Delta n_{PMMA} = n_{(\lambda = 450 \text{ nm})} - n_{(\lambda = 1000 \text{ nm})} \cong 0.017$ , por lo que podemos considerar el error en el índice de refracción como  $\sigma_n = \Delta n/2$ . De esta manera tenemos que:

$$d = \frac{c}{n} \Rightarrow \sigma_d^2 \cong \left(\frac{\partial d}{\partial n}\right)^2 \sigma_n^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial c}\right)^2 \sigma_c^2$$

$$\sigma_d \cong \sqrt{\frac{c^2}{n^4} \left(\frac{\Delta n}{2}\right)^2 + \frac{\sigma_c^2}{n^2}} \underbrace{\approx 18 \text{ nm}}$$

Evaluando esta expresión, se obtiene en todos los casos (diferentes láminas) un error menor a 18 nm.

# Propiedades mecánicas locales del PMMA

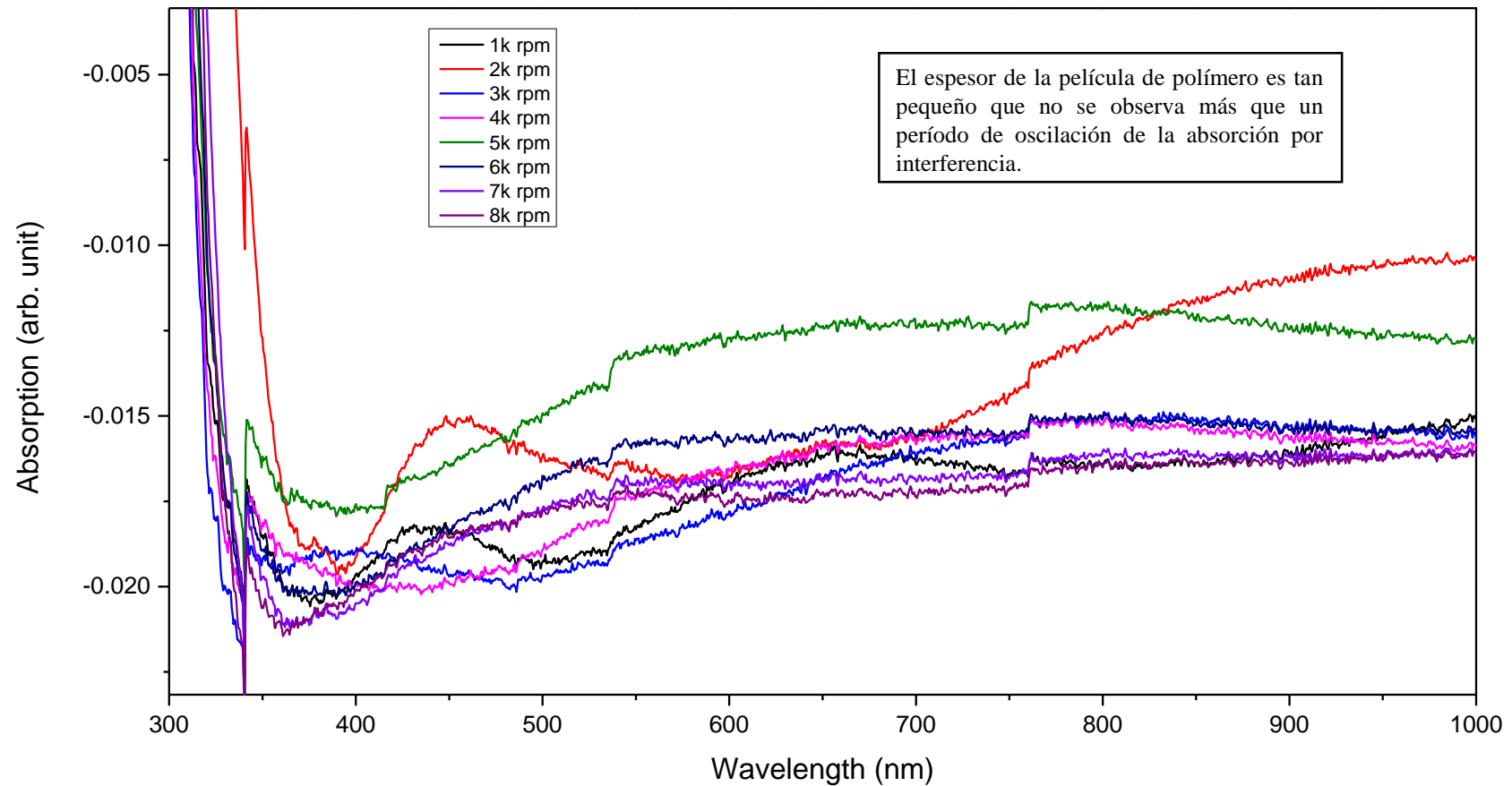
Resumen de resultados

24/06/2019

# Espectros de absorción medidos para diferentes films (diferentes rpm)

Nueva muestra de PMMA 950 – A4

(Ver tabla 'list\_of\_polymers\_and\_oxides')



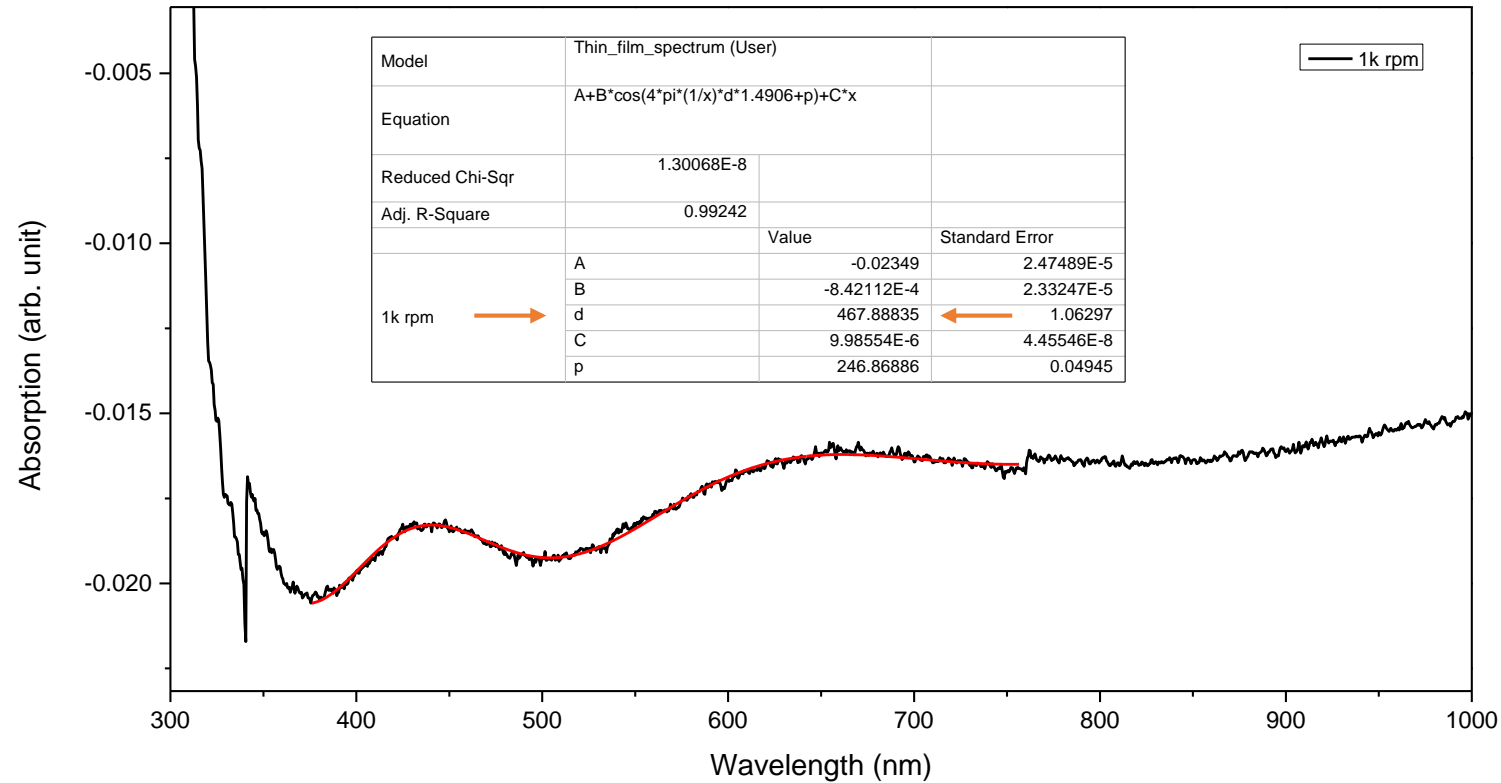
# Espesor de los films de PMMA: Ajustes

$$Abs(\lambda) \sim A + B \cos\left(4\pi d \frac{n_{PMMA}}{\lambda} + p\right) + C \lambda$$

$n_{PMMA} = 1.4906$

Fase constante

Agrego este término para restar el fondo y mejorar el ajuste.

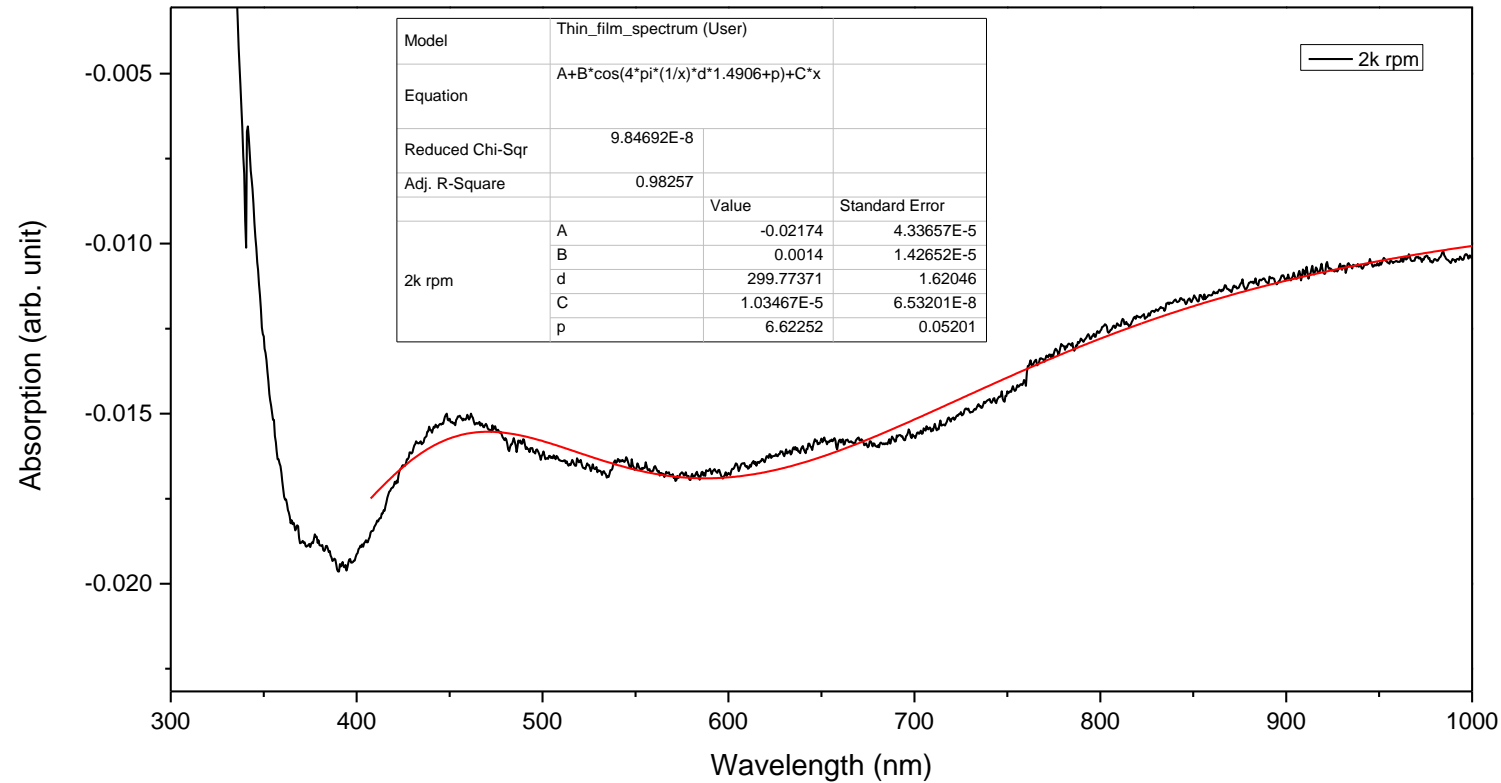


# Espesor de los films de PMMA: Ajustes

$$Abs(\lambda) \sim A + B \cos\left(4\pi d \frac{n_{PMMA}}{\lambda} + p\right) + C \lambda$$

Fase constante

Agrego este término para restar el fondo y mejorar el ajuste.

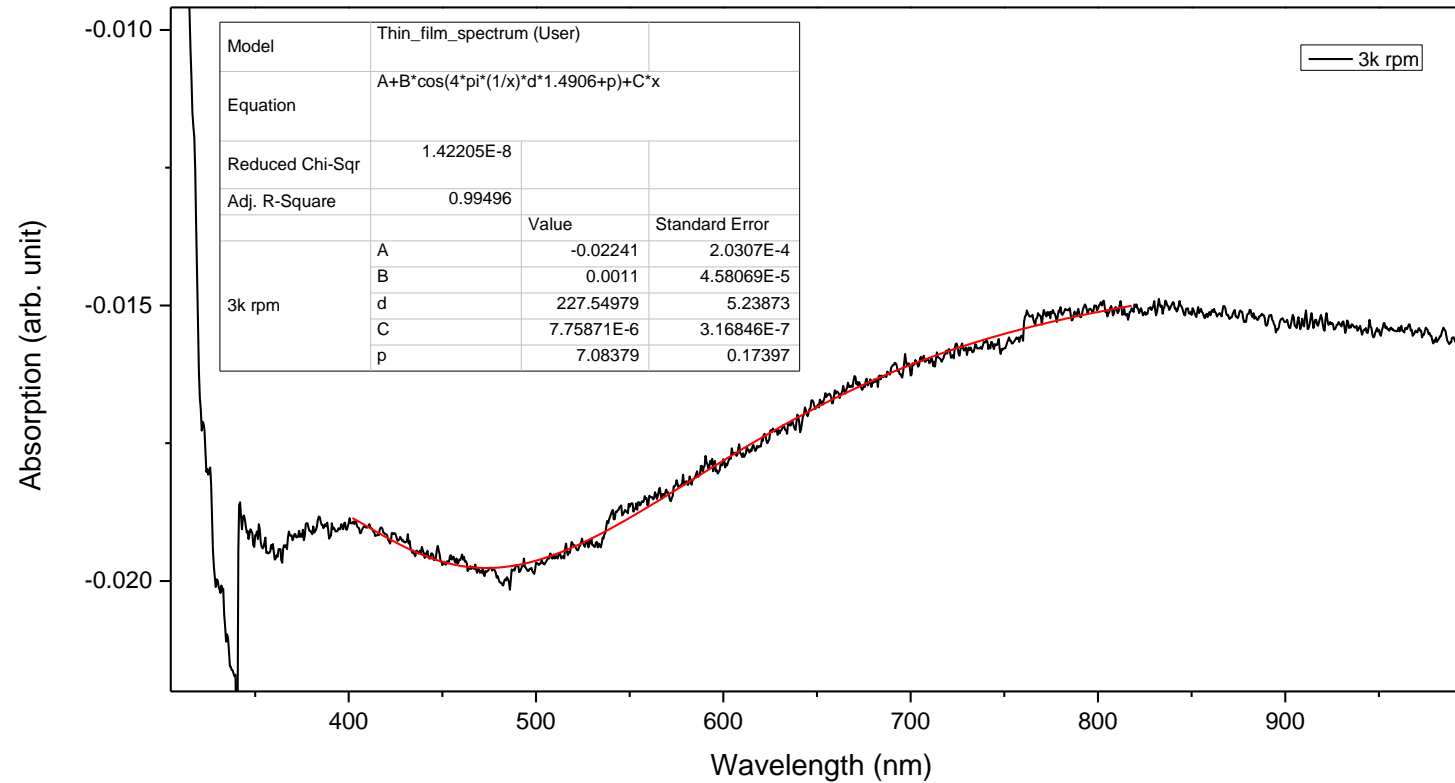


# Espesor de los films de PMMA: Ajustes

$$Abs(\lambda) \sim A + B \cos\left(4\pi d \frac{n_{PMMA}}{\lambda} + p\right) + C \lambda$$

Fase constante

Agrego este término para restar el fondo y mejorar el ajuste.



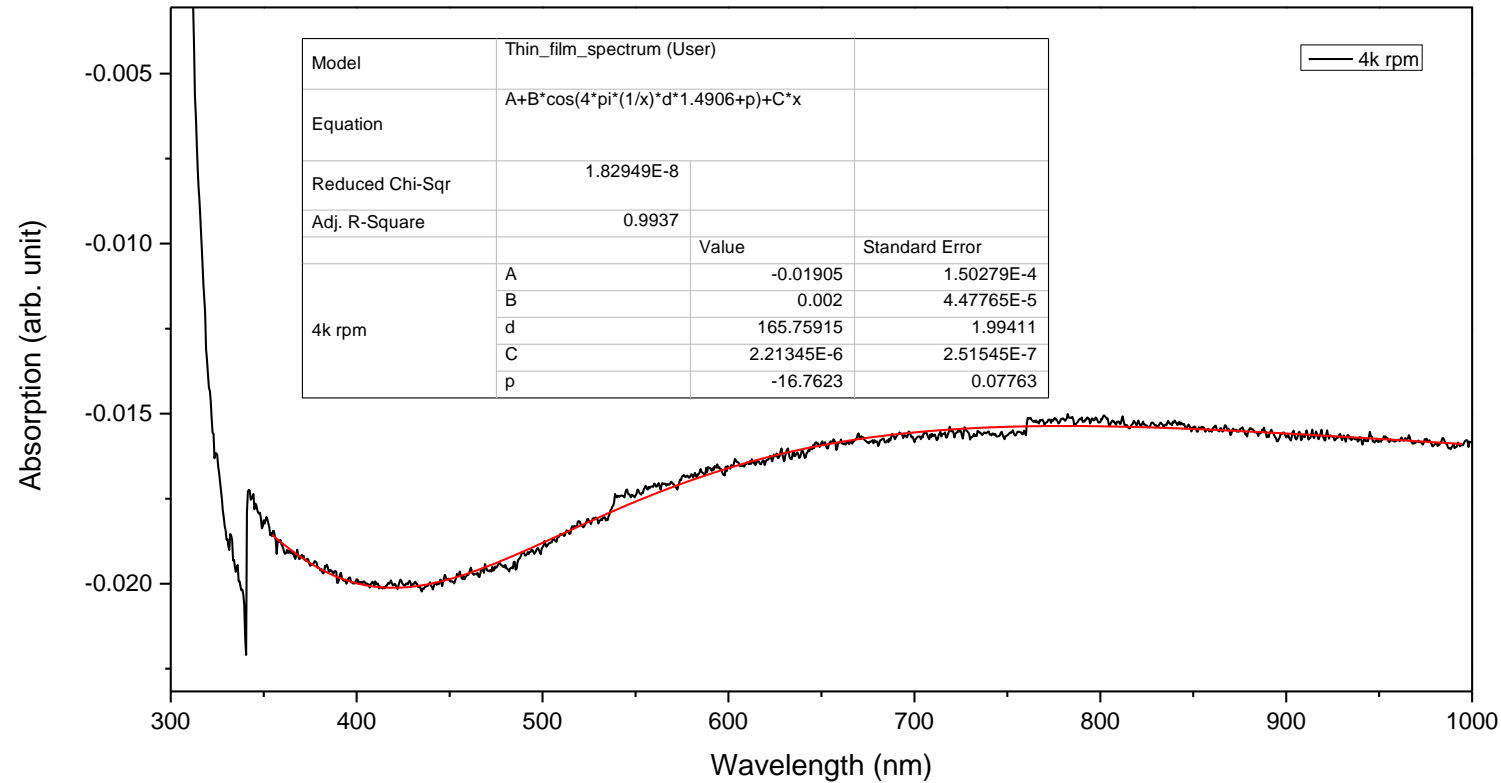


# Espesor de los films de PMMA: Ajustes

$$Abs(\lambda) \sim A + B \cos\left(4\pi d \frac{n_{PMMA}}{\lambda} + p\right) + C \lambda$$

Fase constante

Agrego este término para restar el fondo y mejorar el ajuste.



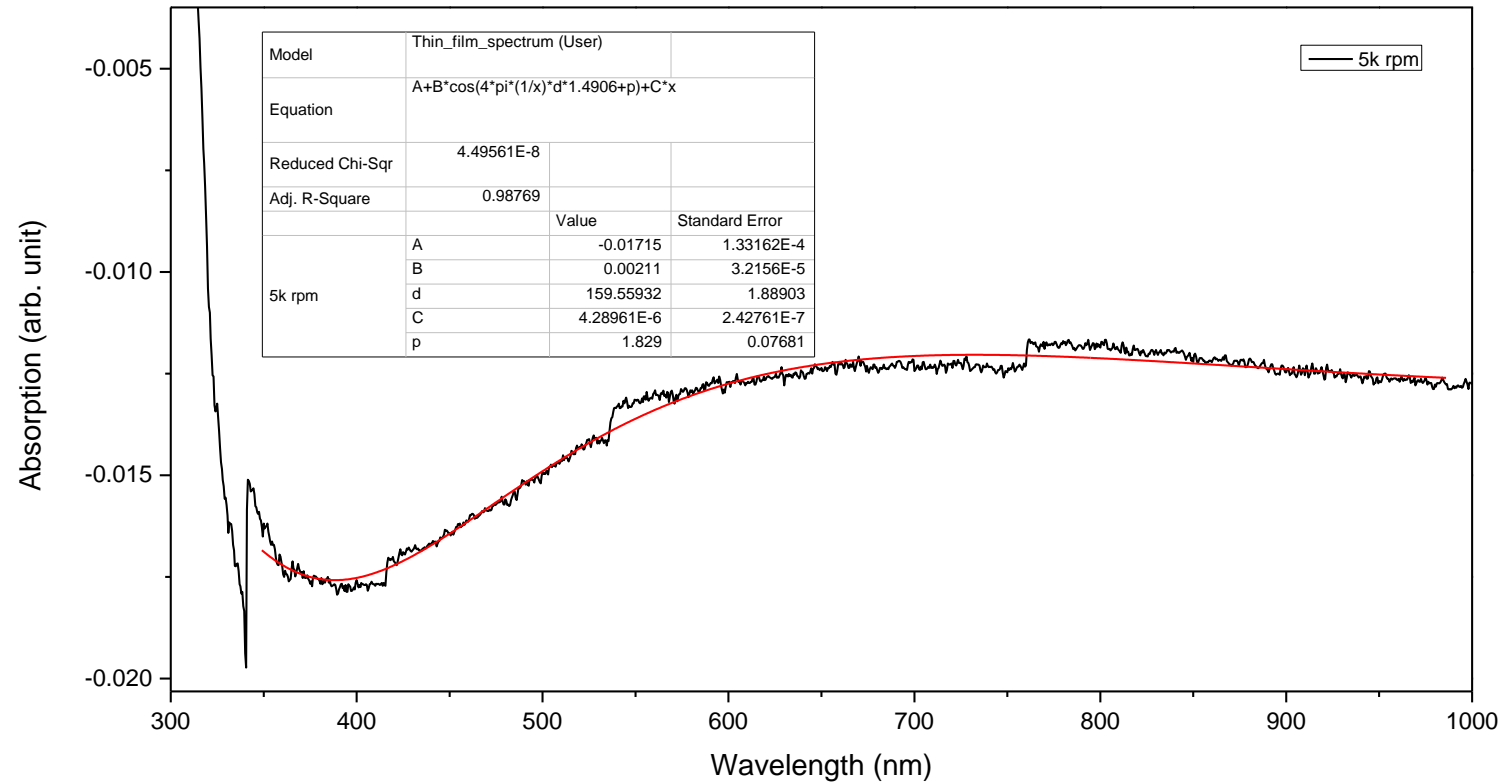
# Espesor de los films de PMMA: Ajustes

$$Abs(\lambda) \sim A + B \cos\left(4\pi d \frac{n_{PMMA}}{\lambda} + p\right) + C \lambda$$

$n_{PMMA} = 1.4906$

Fase constante

Agrego este término para restar el fondo y mejorar el ajuste.

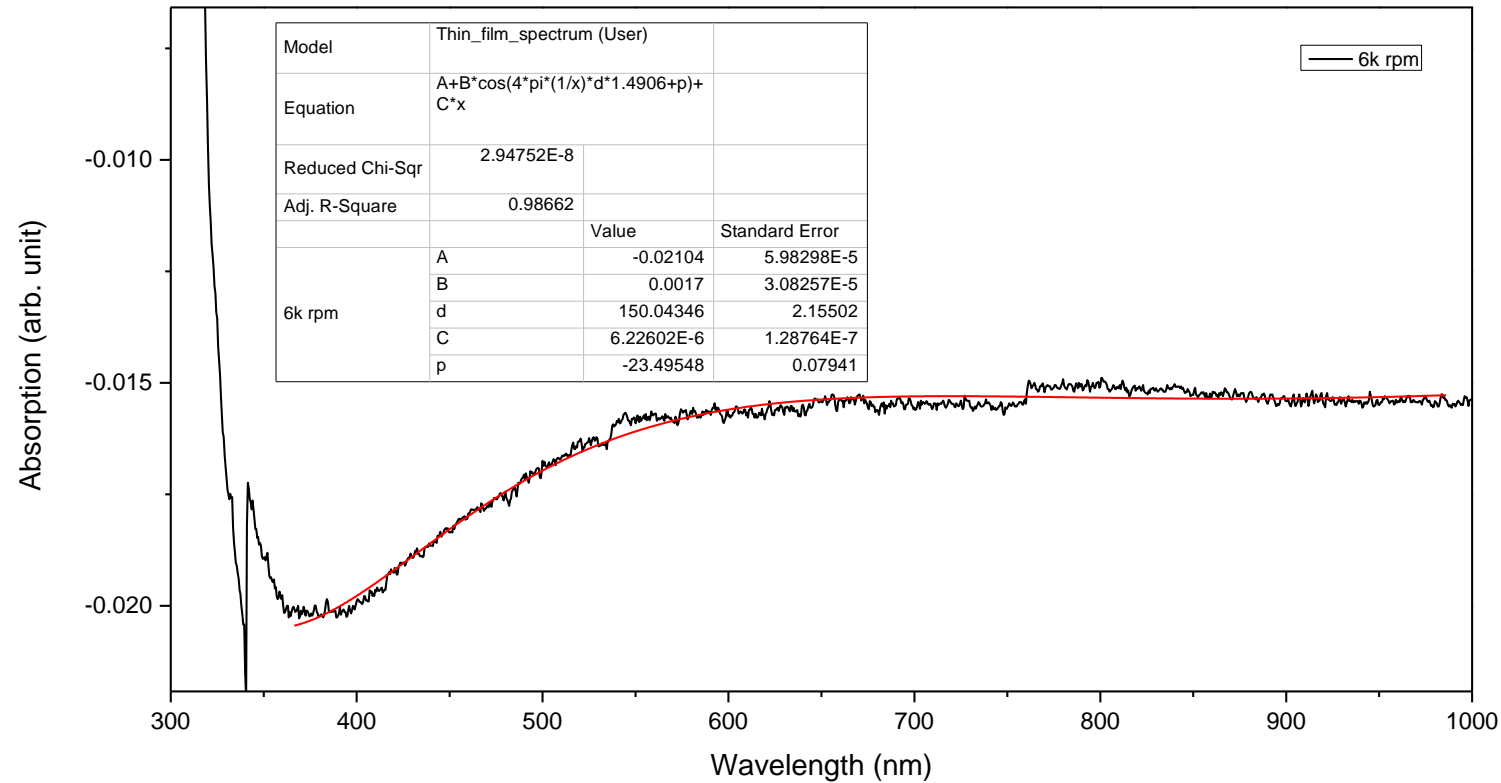


# Espesor de los films de PMMA: Ajustes

$$Abs(\lambda) \sim A + B \cos\left(4\pi d \frac{n_{PMMA}}{\lambda} + p\right) + C \lambda$$

Fase constante

Agrego este término para restar el fondo y mejorar el ajuste.

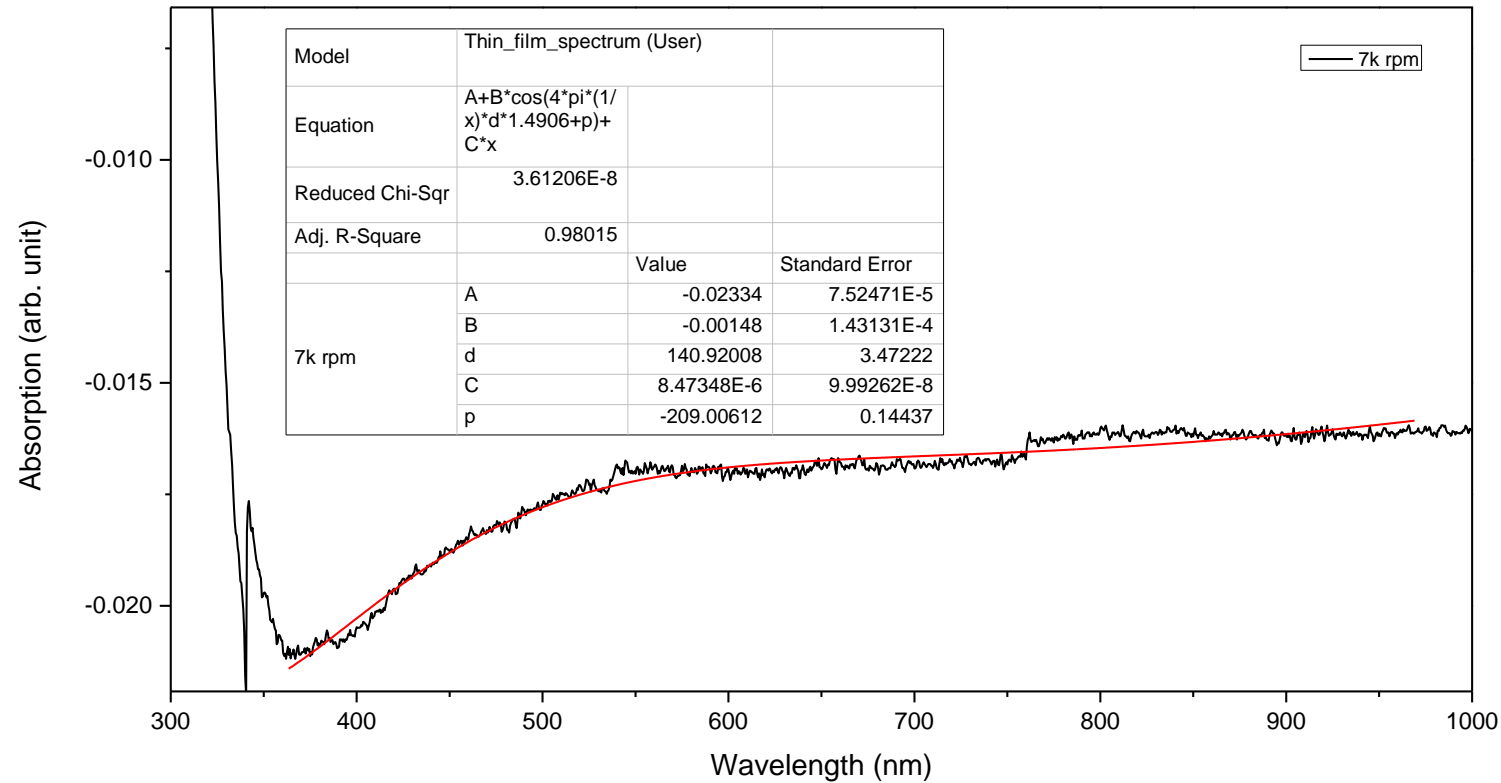


# Espesor de los films de PMMA: Ajustes

$$Abs(\lambda) \sim A + B \cos\left(4\pi d \frac{n_{PMMA}}{\lambda} + p\right) + C \lambda$$

Fase constante

Agrego este término para restar el fondo y mejorar el ajuste.



# Espesor de los films de PMMA: Ajustes

