

ESTUDIO DE LA PÉRDIDA DE ADHESIÓN EN TELAS ADHESIVAS

Mauro Iván Simeonoff*

¹Universidad Tecnológica Nacional, Regional Avellaneda, Avda. Ramón Franco 5050, 1874, Villa Domínico, Provincia de Buenos Aires.

**Autor a quien se debe dirigir la correspondencia
maurosimeonoff@gmail.com*

RESUMEN

La investigación surge de una experiencia en una pasantía en una empresa del rubro textil, más específicamente, en su laboratorio de control de calidad, a la vez que se realizaba el cursado de materias básicas como análisis matemático, fundamental para la base académica del estudio. El principal producto elaborado por la organización es la tela adhesiva para uso hospitalario en sostén de compresas, compuesta de algodón con dorso y adhesivo formulado al óxido de zinc, presentada en rollos de distintos anchos. Resulta clave la medición y estudio de la fuerza de adhesividad de la goma tanto del producto inmediatamente terminado como de su evolución temporal, con el fin de poder acotar la garantía de calidad. Esto es así, dado que, desde el momento de la confección del producto, este no necesariamente se consumirá en el corto plazo, ya que en ocasiones puede quedar almacenado durante varios meses. Por lo tanto, establecer la fecha límite de garantía es importante para los clientes y la empresa puesto que es sabido que los adhesivos pierden su fuerza de adhesión con el paso del tiempo. Resultará entonces valioso poder obtener un modelo matemático que permita predecir la fuerza de adhesividad según el momento determinado.

Palabras clave: Adhesividad, pérdida, tiempo, garantía y modelo.

ABSTRACT

Summary: The research arises from an experience in an internship in a textile company, more specifically, in its quality control laboratory, once the basic subjects were studied as mathematical analysis, fundamental for the academic base of the study. The main product elaborated by the organization is the adhesive fabric for the hospital use in the support of compresses, composed of cotton with the back and the glue formulated the zinc oxide, presented in rolls of distinct widths. The measurement and the study of the force of adhesion of the rubber of both finished product immediately as of its temporary evolution, with the aim of being able to limit the guarantee of quality. This is so, since, from the moment the product is made, it will not necessarily be consumed in the short term, as it can sometimes be stored for several months. Therefore, setting the date limit guarantee is important for customers and the company that because it is known that the adhesives lose their adhesion strength over time. It will be more valuable to obtain a mathematical model that allows predicting the adhesion force according to the given moment.

Key words: Adhesiveness, loss, time, warranty and model.

INTRODUCCIÓN

Antes de la realización del presente estudio, la organización que produce y comercializa la tela adhesiva (ver Figura 1) no contaba con la certeza de que sus productos pudieran llegar a tener una vida útil de dos años cumpliendo con las normas regulatorias. El conocimiento sobre la evolución y el comportamiento del adhesivo a lo largo del tiempo, estuvo siempre concentrado subjetivamente en la experiencia de los dueños sin contar con evidencias numéricas.

Por estos motivos se propone realizar una modelización de pérdida de adhesividad a través del tiempo (en base a datos relevados por el fabricante) y aplicar la modelización en casos que permitan poner en evidencia la importancia del estudio realizado.



Figura 1: Rollo de tela adhesiva para uso sanitario/hospitalario.

Definición aplicada a la medida de adhesión en telas adhesivas

La adhesión es la fuerza que se requiere para separar una lámina de adhesivo de la placa metálica o de vidrio a la que ha sido aplicada bajo una presión determinada. Dicha separación se lleva a cabo a una velocidad fijada (300 mm/min) y bajo un ángulo también especificado que suele ser 180°, aunque también se mide a 90°. Este ensayo (ver Figura 2) mide la fuerza necesaria para romper la unión entre el adhesivo y la superficie a la cual se aplica. El valor obtenido indicará el poder del adhesivo.

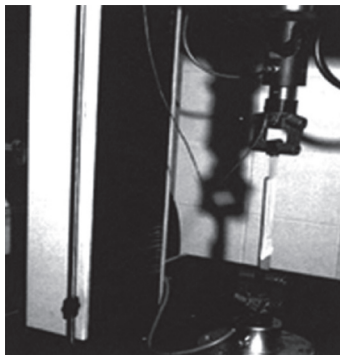


Figura 2: Dinamómetro para realizar ensayo de fuerza de adhesividad a 180°.

La norma argentina que regula los ensayos para cintas adhesivas de tela para uso sanitario es la IRAM 7700/99 exigiendo que los productos cuadren entre los siguientes valores de adhesividad:

- Mínima: 350 cN/cm² (valores menores no generarían un agarre útil a la piel del usuario).
- Máxima: 550 cN/cm² (valores mayores podrían dañar o irritar la piel del usuario).

Las unidades de medición responden a la fuerza necesaria (medida en centiNewton) para despegar una superficie de tela adhesiva (medida en centímetros cuadrados).

DESARROLLO

Recopilación de datos

El área de control de calidad de la organización toma muestras de producción de cada lote fabricado y una vez estabilizada la temperatura mediante el acondicionamiento del aire, se realiza el ensayo de adhesividad para verificar que el valor se encuentre dentro de lo establecido por la norma. Además, genera un registro del valor numérico obtenido y lo almacena junto con una muestra física del producto como resguardo. Tanto el ensayo como la conservación de estas evidencias se realiza en el laboratorio a temperatura controlada de 20°C, ya que esta variable afecta notablemente al poder del adhesivo.

La firma cuenta con muestras de producto terminado desde hace más de 6 años, pudiendo encontrar ejemplares con diferencias mensuales acompañados por sus valores de adhesividad al momento en que se fabricaron las bobinas de tela adhesiva.

Aprovechando la existencia de este material, se procedió a volver a medir el valor de adhesividad, de modo que se obtuvo una medida de la pérdida de adhesión entre el valor origen (registrado en la fecha de fabricación) y valor actual (registrado en la fecha del ensayo). Además, se comparó esta pérdida de adhesividad con el tiempo que había transcurrido entre las mediciones.

Finalmente, para equiparar las diferencias de valores absolutos de las distintas medidas, se decidió llevar el estudio a términos relativos, donde se comparó esta pérdida con el valor original, de modo que se obtuvo la variación o pérdida porcentual del adhesivo, concepto comparable con el de derivada o variación instantánea de un fenómeno cualquiera.

$$\text{Pérdida \%} = \frac{\text{Origen} - \text{Actual}}{\text{Origen}}$$

Como puntapié, se obtuvo una matriz de datos (ver Tabla 1) donde se pudo plasmar los resultados iniciales de la toma de datos del muestreo.

Tabla 1: Tabulación de datos

Tiempo [t]		Adhesividad [cN/cm ²]		Pérdida
Meses	Años	Origen	Actual	Medida
0	0,0	500	500	0%
1	0,1	550	523	5%
2	0,2	580	539	7%
3	0,3	590	537	9%
4	0,3	450	405	10%
5	0,4	480	408	15%
6	0,5	475	409	14%
7	0,6	605	514	15%
8	0,7	555	461	17%
9	0,8	540	454	16%
10	0,8	530	445	16%
11	0,9	400	316	21%
12	1,0	520	395	24%

(continúa)

(continuación)

Tiempo [t]		Adhesividad [cN/cm ²]		Pérdida
Meses	Años	Origen	Actual	Medida
13	1,1	510	377	26%
14	1,2	610	458	25%
15	1,3	600	462	23%
16	1,3	650	455	30%
17	1,4	680	483	29%
18	1,5	420	269	36%
19	1,6	450	302	33%
20	1,7	480	312	35%
21	1,8	500	325	35%
22	1,8	550	352	36%
23	1,9	520	343	34%
24	2,0	530	334	37%
25	2,1	400	248	38%
26	2,2	470	306	35%
27	2,3	430	271	37%
28	2,3	490	319	35%
29	2,4	450	293	35%
30	2,5	380	239	37%
31	2,6	400	268	33%
32	2,7	410	246	40%
33	2,8	550	336	39%
34	2,8	560	347	38%
35	2,9	570	359	37%
36	3,0	500	310	38%
37	3,1	680	422	38%
38	3,2	550	347	37%
39	3,3	560	347	38%
40	3,3	640	390	39%
41	3,4	540	324	40%
42	3,5	520	322	38%
43	3,6	530	334	37%
44	3,7	510	306	40%
45	3,8	410	242	41%
46	3,8	690	414	40%
47	3,9	710	391	45%
48	4,0	620	360	42%

(continúa)

(continuación)

Tiempo [t]		Adhesividad [cN/cm ²]		Pérdida
Meses	Años	Origen	Actual	Medida
49	4,1	520	312	40%
50	4,2	540	313	42%
51	4,3	460	262	43%
52	4,3	490	294	40%
53	4,4	480	293	39%
54	4,5	700	413	41%
55	4,6	680	408	40%
56	4,7	650	390	40%
57	4,8	510	301	41%
58	4,8	600	360	40%
59	4,9	610	354	42%
60	5,0	620	353	43%
61	5,1	640	378	41%
62	5,2	630	359	43%
63	5,3	680	408	40%
64	5,3	590	348	41%
65	5,4	600	342	43%
66	5,5	650	358	45%
67	5,6	550	297	46%
68	5,7	600	342	43%
69	5,8	650	390	40%
70	5,8	550	330	40%
71	5,9	530	307	42%
72	6,0	540	308	43%

Como dato notable, se puede determinar que la adhesividad promedio de fabricación se encuentra en un valor de 547 cN/cm². Además, resulta útil plasmar los datos tabulados en un gráfico (ver Gráfico 1) de modo que pueda apreciarse visualmente cómo es la evolución de la fuerza del adhesivo en el tiempo.

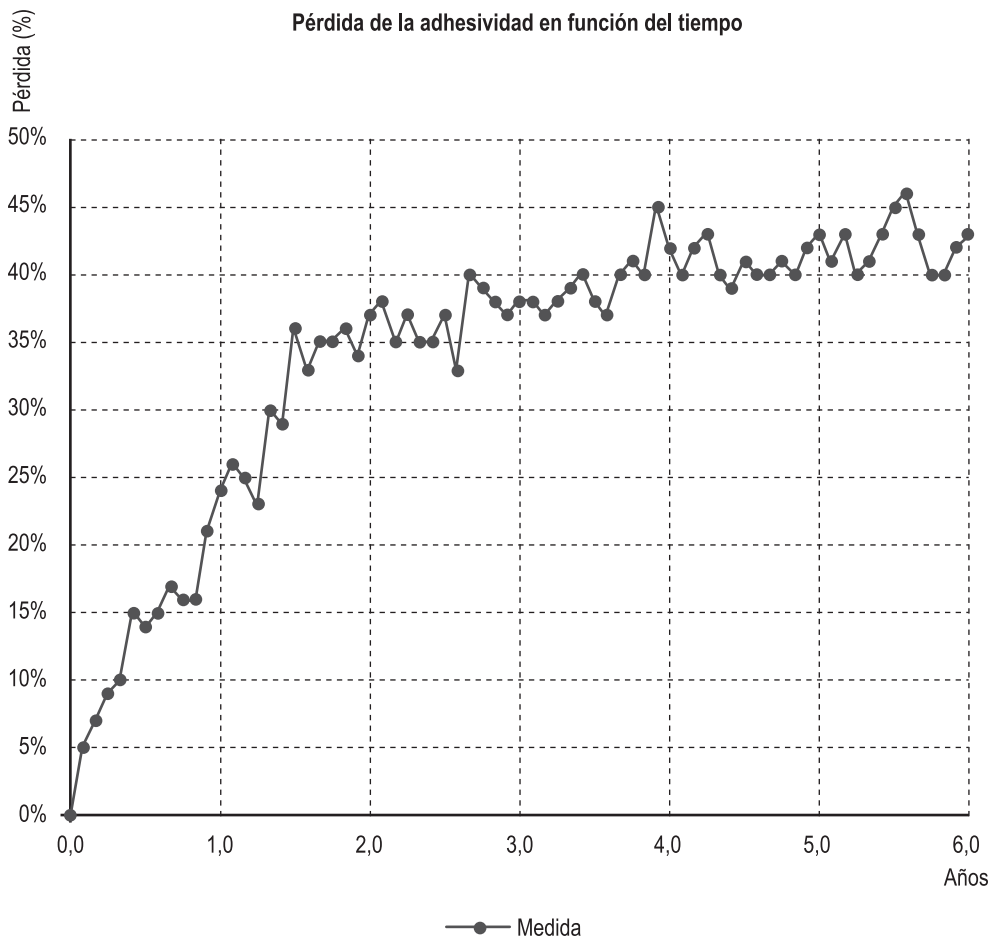


Gráfico 1: Gráfica de datos

Modelado matemático

Una vez dado el conjunto de datos, se obtiene un polinomio de cuarto grado que ajusta al mismo con un coeficiente de correlación cuadrático de 0.9661 (valor que va de 0 a 1) y dado que el mismo es superior a 0.7, se acepta la confiabilidad del modelo. Una manera de seguir mejorando la herramienta sería agregar más términos y grados al polinomio, pero el beneficio en precisión adicional que se obtendría, no justifica lo complejo que se tornaría el modelo para su posterior aplicación.

La función de pérdida de adhesividad en función del tiempo se describe a continuación:

$$P(t) = -0,0008 * t^4 + 0,0152 * t^3 - 0,1033 * t^2 + 0,3224 * t + 0,006$$

Puede utilizarse la función obtenida para ver cómo se comporta (ver Gráfico 2) respecto a los datos obtenidos inicialmente.

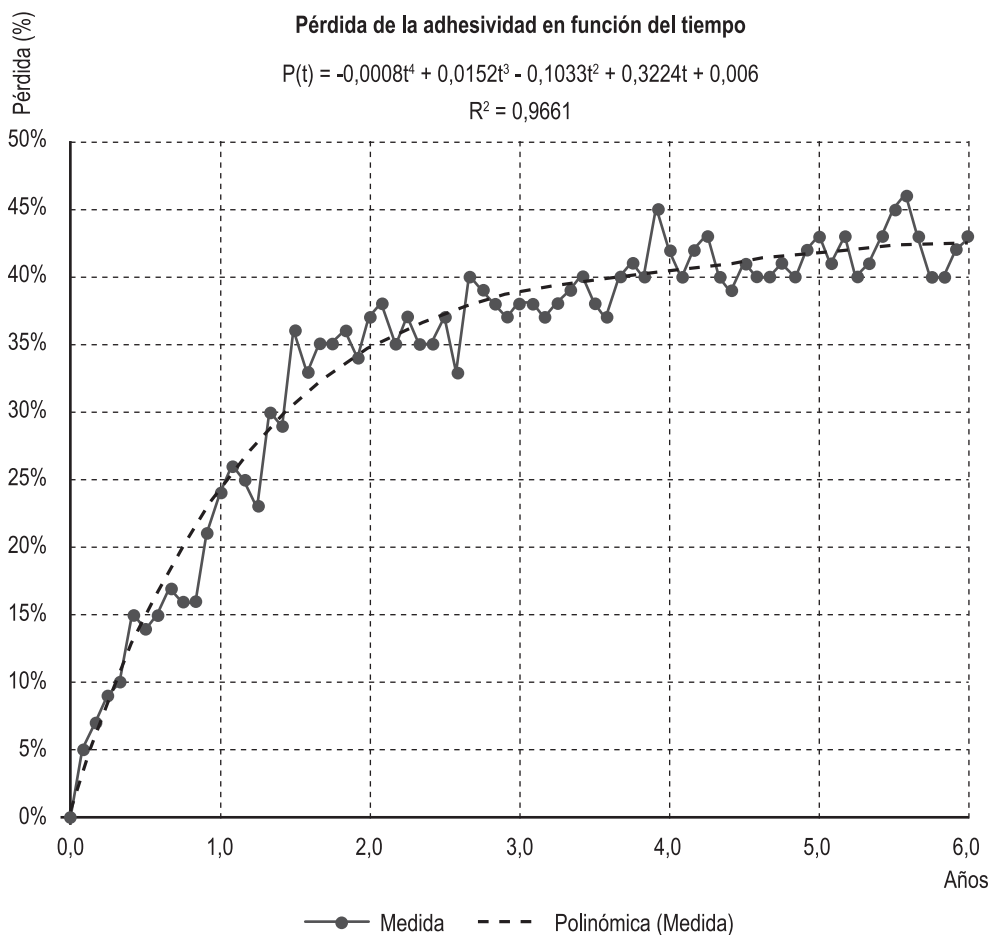


Gráfico 2: Gráfica de datos con polinomio de ajuste.

Acotación del dominio

Si bien matemáticamente el polinomio obtenido tiene dominio en todos los números reales (a priori aplicable para cualquier cantidad de tiempo), sería erróneo considerar valores de tiempo de vida de adhesivo menores a cero por absurdo. Asimismo, intentar utilizar el modelo para proyectar el comportamiento del adhesivo luego del sexto año sería otro error conceptual. Esto es así, dado que la fórmula solo es válida para valores de tiempo donde fueron tomadas las mediciones que dieron origen al modelo. Por ello, es preciso aclarar que la función obtenida solo servirá para evaluar escenarios dentro del alcance de las variables donde fueron obtenidos los datos, por ello el valor de tiempo (t) que puede simularse se comprende de la siguiente manera:

$t \in \mathbb{R} / [0 \leq t \leq 6]$, siendo la unidad de t un número que exprese años del adhesivo.

Acotación del codominio

Inmediatamente, al acotar el dominio se procede a hacer lo mismo con el codominio que soportado con la ayuda del gráfico, puede verse que la pérdida de adhesividad partirá desde un valor muy próximo a cero hasta llegar a la pérdida máxima registrada correspondiente al dato mensual número setenta y dos, o bien, al sexto año de vida del adhesivo.

Por lo tanto, el codominio se cerca dentro de los siguientes parámetros:

$$P(0) = -0,0008 * 0^4 + 0,0152 * 0^3 - 0,1033 * 0^2 + 0,3224 * 0 + 0,006 = 0,006 \text{ (prácticamente cero)}$$

$$P(6) = -0,0008 * 6^4 + 0,0152 * 6^3 - 0,1033 * 6^2 + 0,3224 * 6 + 0,006 = 0,468$$

$$P(t) \in \mathbb{R} / [0,006 \leq P(t) \leq 46,8\%]$$

Variación instantánea de la pérdida de adhesividad en función del tiempo

A continuación, se puede aplicar el concepto de derivada a la función anterior, dado que, al tratarse esta de un polinomio, está garantizada la continuidad de la misma y la función derivada existirá también para ese mismo dominio:

$$P(t) = -0,0008 * t^4 + 0,0152 * t^3 - 0,1033 * t^2 + 0,3224 * t + 0,006$$

$$P'(t) = -0,0032 * t^3 + 0,0456 * t^2 - 0,2066 * t + 0,3224 = dP/dt$$

La precisión del coeficiente de correlación cuadrático puede contrastarse según los resultados que arroja el modelo contra los datos tomados de la realidad en cada intervalo de tiempo (ver Tabla 2).

También puede apreciarse el estudio de la derivada en cada punto y su promedio anual, denotando los años de mayor aceleración de la variable pérdida de adhesividad.

Tabla 2: Tabulación de datos con uso del modelo y su derivada.

Tiempo [t]		Adhesividad [cN/cm ²]		Pérdida	Uso de la función y de su derivada		
Meses	Años	Origen	Actual	Medida	P(t)	P'(t)	Promedio Anual
0	0,0	500	500	0%	1%	32%	32%
1	0,1	550	523	5%	3%	31%	23%
2	0,2	580	539	7%	6%	29%	
3	0,3	590	537	9%	8%	27%	
4	0,3	450	405	10%	10%	26%	
5	0,4	480	408	15%	12%	24%	
6	0,5	475	409	14%	14%	23%	
7	0,6	605	514	15%	16%	22%	
8	0,7	555	461	17%	18%	20%	
9	0,8	540	454	16%	20%	19%	
10	0,8	530	445	16%	21%	18%	
11	0,9	400	316	21%	23%	17%	
12	1,0	520	395	24%	24%	16%	
13	1,1	510	377	26%	25%	15%	10%
14	1,2	610	458	25%	26%	14%	
15	1,3	600	462	23%	28%	13%	
16	1,3	650	455	30%	29%	12%	
17	1,4	680	483	29%	30%	11%	
18	1,5	420	269	36%	30%	10%	
19	1,6	450	302	33%	31%	10%	
20	1,7	480	312	35%	32%	9%	
21	1,8	500	325	35%	33%	8%	
22	1,8	550	352	36%	33%	8%	
23	1,9	520	343	34%	34%	7%	
24	2,0	530	334	37%	35%	7%	
25	2,1	400	248	38%	35%	6%	4%
26	2,2	470	306	35%	36%	6%	
27	2,3	430	271	37%	36%	5%	
28	2,3	490	319	35%	37%	5%	
29	2,4	450	293	35%	37%	4%	
30	2,5	380	239	37%	37%	4%	
31	2,6	400	268	33%	38%	4%	
32	2,7	410	246	40%	38%	4%	
33	2,8	550	336	39%	38%	3%	
34	2,8	560	347	38%	38%	3%	
35	2,9	570	359	37%	39%	3%	
36	3,0	500	310	38%	39%	3%	

(continúa)

(continuación)

Tiempo [t]		Adhesividad [cN/cm ²]		Pérdida	Uso de la función y de su derivada		
Meses	Años	Origen	Actual	Medida	P(t)	P'(t)	Promedio Anual
37	3,1	680	422	38%	39%	3%	2%
38	3,2	550	347	37%	39%	2%	
39	3,3	560	347	38%	40%	2%	
40	3,3	640	390	39%	40%	2%	
41	3,4	540	324	40%	40%	2%	
42	3,5	520	322	38%	40%	2%	
43	3,6	530	334	37%	40%	2%	
44	3,7	510	306	40%	40%	2%	
45	3,8	410	242	41%	41%	2%	
46	3,8	690	414	40%	41%	2%	
47	3,9	710	391	45%	41%	2%	
48	4,0	620	360	42%	41%	2%	
49	4,1	520	312	40%	41%	2%	
50	4,2	540	313	42%	41%	2%	
51	4,3	460	262	43%	42%	2%	
52	4,3	490	294	40%	42%	2%	
53	4,4	480	293	39%	42%	2%	
54	4,5	700	413	41%	42%	2%	
55	4,6	680	408	40%	42%	3%	
56	4,7	650	390	40%	43%	3%	
57	4,8	510	301	41%	43%	3%	
58	4,8	600	360	40%	43%	3%	
59	4,9	610	354	42%	43%	3%	
60	5,0	620	353	43%	44%	3%	3%
61	5,1	640	378	41%	44%	3%	
62	5,2	630	359	43%	44%	3%	
63	5,3	680	408	40%	44%	3%	
64	5,3	590	348	41%	45%	3%	
65	5,4	600	342	43%	45%	3%	
66	5,5	650	358	45%	45%	3%	
67	5,6	550	297	46%	45%	3%	
68	5,7	600	342	43%	46%	3%	
69	5,8	650	390	40%	46%	3%	
70	5,8	550	330	40%	46%	3%	
71	5,9	530	307	42%	47%	3%	
72	6,0	540	308	43%	47%	3%	

Se denota, viendo la columna de la pérdida de adhesividad promedio anual, que en los primeros años la pérdida de adhesión adquiere valores significativos y luego se estabiliza. Este resultado puede interpretarse gráficamente (ver Gráfico 2).

RESULTADOS

Los ensayos realizados, tras pasados a registros, tablas, gráficos y modelados matemáticamente, dieron lugar a la siguiente fórmula que evidencia la pérdida de adhesividad en cualquier intervalo de tiempo comprendido entre el año 0 y 6 de vida del adhesivo. El modelo alcanzado se muestra a continuación:

$$P(t) = - 0,0008 * t^4 + 0,0152 * t^3 - 0,1033 * t^2 + 0,3224 * t + 0,006$$

Para el mismo dominio de tiempo, si se quisiera investigar la variación instantánea de esta variable, podría utilizarse la siguiente función:

$$P'(t) = - 0,0032 * t^3 + 0,0456 * t^2 - 0,2066 * t + 0,3224 = dP/dt$$

DISCUSIÓN

Una manera de examinar e interpretar los resultados es simular el modelo expuesto matemáticamente mediante aplicaciones concretas que son útiles para el fabricante, por ello a continuación, se enuncian algunas problemáticas que pueden resolverse mediante el desarrollo expuesto.

Aplicación N°1

¿Puede el fabricante de este adhesivo con el modelo desarrollado garantizar a los clientes que en promedio el adhesivo al menos durará 2 años con una adhesividad mayor o igual a los 350 cN/cm² exigidos por norma?

$$P(t) = - 0,0008 * t^4 + 0,0152 * t^3 - 0,1033 * t^2 + 0,3224 * t + 0,006$$

$$P(2) = - 0,0008 * 2^4 + 0,0152 * 2^3 - 0,1033 * 2^2 + 0,3224 * 2 + 0,006$$

$$P(2) = 0,3464$$

$$P(2) = 34,64 \%$$

Habiendo calculado el porcentaje de pérdida de adhesividad teórico bajo un modelo de setenta y dos lotes, es justo aplicarle este coeficiente de pérdida relativa al valor medio de la producción inmediatamente fabricada de 547 cN/cm², (no obstante, se puede utilizar el modelo para cada valor de producción individual obtenido).

$$A(2) = 547 * (1 - 0,3464)$$

$$A(2) = 357$$

Aplicación N°2

¿Puede el fabricante de este adhesivo con el modelo desarrollado investigar cuánto tiempo promedio tardaría el adhesivo en reducir su capacidad de adhesión un 40%?

$$\begin{aligned}
 P(t) &= -0,0008 * t^4 + 0,0152 * t^3 - 0,1033 * t^2 + 0,3224 * t + 0,006 \\
 P(t) = 0,4 &= -0,0008 * t^4 + 0,0152 * t^3 - 0,1033 * t^2 + 0,3224 * t + 0,006 \\
 0 &= -0,0008 * t^4 + 0,0152 * t^3 - 0,1033 * t^2 + 0,3224 * t + 0,006 - 0,4 \\
 0 &= -0,0008 * t^4 + 0,0152 * t^3 - 0,1033 * t^2 + 0,3224 * t - 0,394
 \end{aligned}$$

El problema se reduce al hallazgo de las raíces de un polinomio, obtenibles por regla de Ruffini o bien usando programas matemáticos. Tal como indica la teoría, un polinomio de cuarto grado podría poseer hasta cuatro raíces distintas, sin embargo, intuitivamente debería existir un solo resultado válido que tenga sentido práctico, es decir, un solo valor de tiempo en donde suceda que el adhesivo pierde un 40% de su adhesividad.

Matemáticamente la ecuación encuentra estos resultados:

$$\begin{aligned}
 t_1 &= 3,4699 \rightarrow \text{Raíz real incluida en el dominio de la función} \rightarrow \text{Aceptada.} \\
 t_2 &= 8,8297 \rightarrow \text{Raíz real fuera del dominio de la función} \rightarrow \text{Descartada.} \\
 t_3 &= 3,3502 - 2,2025 * i \rightarrow \text{Raíz incluida en los números imaginarios} \rightarrow \text{Descartada.} \\
 t_4 &= 3,3502 + 2,2025 * i \rightarrow \text{Raíz incluida en los números imaginarios} \rightarrow \text{Descartada.}
 \end{aligned}$$

Verificación analítica

$$\begin{aligned}
 P(3,4699) &= -0,0008 * 3,4699^4 + 0,0152 * 3,4699^3 - 0,1033 * 3,4699^2 + 0,3224 * 3,4699 + 0,006 \\
 P(3,4699) &= 0,399999972 = 0,4 \text{ (aproximación por limitación de decimales).} \\
 3,4699 &= 3 + 0,4699 \text{ años} \\
 3,4699 &= 3 \text{ años} + 0,4699 \text{ años} * 12 \text{ meses/año} \\
 P(t) = 0,4 &\rightarrow t = 3 \text{ años y 5 meses}
 \end{aligned}$$

Aplicación N°3

Es práctico hacer un resumen aplicando el modelo en una tabla cruzada de tiempo y adhesividad (ver Tabla 3), de modo que el fabricante pueda producir una tela adhesiva garantizando que hasta dentro de dos años la fuerza de adhesión de la misma no estará por debajo de los 350 cN/cm² establecidos por la norma. Por ello, los valores de adhesión medidos inmediatos a la producción (ensayados a 20° C) que debería tener el producto para que lo anterior suceda, cruzado con el tiempo hasta que se utiliza la tela adhesiva, generarán un conjunto de pares ordenados solución y otros que no cumplen con el objetivo.

Tabla 3: Resumen técnico

A (t)	Tiempo [meses]																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
350	339	330	322	314	307	300	293	287	281	276	271	266	262	258	254	250	247	243	241	238	235	233	231	229
360	348	340	331	323	316	308	302	295	289	284	279	274	269	265	261	257	254	250	247	245	242	240	237	235
370	358	349	340	332	324	317	310	304	298	292	286	281	277	272	268	264	261	257	254	251	249	246	244	242
380	368	358	349	341	333	326	319	312	306	300	294	289	284	280	275	271	268	264	261	258	255	253	251	248
390	377	368	359	350	342	334	327	320	314	308	302	297	292	287	283	279	275	271	268	265	262	260	257	255
400	387	377	368	359	351	343	335	328	322	315	310	304	299	294	290	286	282	278	275	272	269	266	264	261
410	397	387	377	368	359	351	344	336	330	323	317	312	307	302	297	293	289	285	282	279	276	273	270	268
420	406	396	386	377	368	360	352	345	338	331	325	319	314	309	304	300	296	292	289	285	282	280	277	275
430	416	406	395	386	377	368	360	353	346	339	333	327	322	316	312	307	303	299	295	292	289	286	284	281
440	426	415	405	395	386	377	369	361	354	347	341	335	329	324	319	314	310	306	302	299	296	293	290	288
450	436	424	414	404	394	386	377	369	362	355	348	342	336	331	326	321	317	313	309	306	302	299	297	294
460	445	434	423	413	403	394	386	377	370	363	356	350	344	338	333	329	324	320	316	313	309	306	303	301
470	455	443	432	422	412	403	394	386	378	371	364	357	351	346	341	336	331	327	323	319	316	313	310	307
480	465	453	441	431	421	411	402	394	386	379	372	365	359	353	348	343	338	334	330	326	323	319	316	314
490	474	462	451	440	429	420	411	402	394	386	379	373	366	361	355	350	345	341	337	333	329	326	323	320
500	484	472	460	449	438	428	419	410	402	394	387	380	374	368	362	357	352	348	344	340	336	333	330	327
510	494	481	469	458	447	437	427	419	410	402	395	388	381	375	370	364	359	355	350	347	343	339	336	333
520	503	490	478	467	456	446	436	427	418	410	403	395	389	383	377	371	366	362	357	353	350	346	343	340
530	513	500	487	476	465	454	444	435	426	418	410	403	396	390	384	379	373	369	364	360	356	353	349	346
540	523	509	497	485	473	463	453	443	434	426	418	411	404	397	391	386	380	376	371	367	363	359	356	353
550	532	519	506	494	482	471	461	451	442	434	426	418	411	405	399	393	388	383	378	374	370	366	363	359
560	542	528	515	503	491	480	469	460	450	442	434	426	419	412	406	400	395	390	385	380	376	373	369	366
570	552	538	524	512	500	488	478	468	458	450	441	433	426	419	413	407	402	396	392	387	383	379	376	373
580	561	547	533	521	508	497	486	476	466	457	449	441	434	427	420	414	409	403	399	394	390	386	382	379
590	571	556	543	530	517	505	495	484	474	465	457	449	441	434	428	421	416	410	405	401	397	393	389	386
600	581	566	552	538	526	514	503	492	482	473	464	456	449	441	435	429	423	417	412	408	403	399	396	392

Como herramienta de potencial utilidad para el área de producción y ventas, la lectura del resumen técnico indica que los pares ordenados de tiempo y adhesividad que no entren dentro de los parámetros deseados, quedarán rezagados a producción fuera de especificación.

CONCLUSIONES

Desde la aplicación N°1, puede deducirse que como el valor de adhesividad hallado de 357 cN/cm² a los dos años es mayor a los 350 cN/cm² que exige la norma, resulta aceptable dar dos años como tiempo de garantía de producto. No obstante, viendo que el valor obtenido está próximo al límite mínimo y que el promedio de producción es próximo al límite máximo, para obtener mayor confiabilidad se podría estudiar el desarrollo de un adhesivo distinto y mejorado que mantenga su poder de adhesión por más tiempo, o bien acotar el período de garantía.

Por otro lado, en la aplicación N°2, se observa que el adhesivo tarda 3 años y 5 meses en perder un 40% de su capacidad adhesiva. Registrar estos valores sirve como base para poder comparar productos de la competencia o bien desarrollos propios de otros adhesivos.

Finalmente, con la aplicación N°3, se deduce que aquellos lotes de producción con valores de adhesividad mayores a 550 cN/cm² no deberían ser descartados, sino que, como política de la empresa, podrían conservarse en planta o postergar su consumo o despacho comercial hasta estimar que haya caído su poder de adhesión según el valor de adhesividad inicial y el tiempo. Por el contrario, los lotes con valores muy bajos de producción o cercanos superiormente a 350 cN/cm² deberán venderse y utilizarse en la inmediatez.

Resumen de teoría aplicada

- Conjunto de datos, par ordenado (t;P).
- Obtención de una función explícita: P(t).
- Coeficiente de correlatividad R².
- Determinación de dominio y codominio de una función.
- Cálculo de la función derivada: P'(t).
- Evaluación de una función y su derivada en distintos puntos.
- Hallazgo e interpretación de las raíces de una ecuación.

AGRADECIMIENTOS

A la UTN FRA por haberme dado la posibilidad de realizar pasantías como en la que pude desarrollar este trabajo que concluye en publicación, a la par que me formó como profesional de la ingeniería industrial; a la empresa donde desarrollé esta práctica y pude vincular los conocimientos académicos con la realidad de la industria; a la Ingeniera y docente de la casa Stella Maris Boutet, por su supervisión directa y conducción anímica para difundir, exponer y publicar este desarrollo industrial ante el alumnado académico y docente; y a mi familia por haberme dotado de todos los recursos necesarios para desarrollarme plenamente en lo personal, académico y profesional, experiencia de vida que me ha enseñado que crecer es compartir.

REFERENCIAS

SIMEONOFF, M.I. (2010). Apuntes de cátedra de Análisis Matemático I, Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda.