



Optimización de las temperaturas del proceso de extrusión de PVC rígido de perfiles para sistemas de abertura mediante DOE (Box-Behnken)

*Temperature Optimization for the Rigid PVC extrusión
process for window system profiles using DOE (Box-
Behnken)*

Trabajo Final Integrador

Especialización en calidad industrial
INCALIN-UNSAM

Lic.Qca Pablo Mauricio Pirri
pablo@pirri.com.ar



Contenido

Introducción General	2
Descripción del entorno.....	2
Criterios y fundamentos	3
Metodología.....	5
Resumen de los beneficios esperados	9
Análisis de la situación final prevista	10
Conclusiones finales, impactos a corto y mediano plazo	10
Bibliografía	10



Optimización de las temperaturas del proceso de extrusión de PVC rígido de perfiles para sistemas de abertura mediante DOE (Box-Behnken)

Temperature Optimization for the Rigid PVC extrusión process for window system profiles using DOE (Box-Behnken)

Lic. Qca. (BSCh) Pablo Mauricio Pirri

Especialización en calidad industrial

Introducción General

Mediante el presente trabajo se pretende abordar la sistematización para la optimización de las temperaturas de máquina para la extrusión de perfiles de PVC para sistemas de aberturas utilizando como herramienta una matriz de diseño de experimentos.

Como variables de respuesta se considerarán los parámetros dimensionales propios del herramental, su observación de aspecto visual, su resistencia al impacto por caída de dardo a -10°C según EN 12608/1 y principalmente su resistencia al impacto Charpy ISO 179/1 con probetas 1fa. Estos se ensayarán mediante un diseño factorial del tipo Box-Behnken.

General Introduction

In the present work will be aborded the systematization for the temperature optimization in the extrusión process for window system profiles using DOE.

As response variable will be considered the dimensional parameters belonging to the tooling under study, his visual aspect, dart impact resistance at -10°C according EN 12608/1 and principally his Charpy Impact resistance according ISO 179/1 using 1fa specimens.

This work will be realized according a factorial desing Box-Behnken.

Descripción del entorno

La planta ubicada en la zona de Tres de Febrero, Pcia. De Buenos Aires, comprende una de las dos locaciones nacionales de la empresa de capitales locales con sedes en Méjico, Chile y Brasil.

La empresa, líder latinoamericana en el rubro, abastece los mercados mencionados desde su centro logístico de Argentina, locación en donde se concentra la totalidad de la producción. La misma consta de 6 extrusoras de última tecnología Alemana con matricería Austríaca, poseyendo autoabastecimiento de compuesto de PVC de elaboración propia y maquinaria acorde para la realización de los procesos posteriores de laminado.

Posee además un laboratorio tecnológicamente equipado para procurar los controles de proceso necesarios y el equipamiento necesario para el desarrollo de su propia tecnología y formulaciones.

El análisis de la mejora se realizará en una extrusora Krauss Maffei KMD 90 sobre un compuesto de PVC rígido blanco de características conocidas y constantes extruidas sobre un perfil de marco standard de alta productividad.

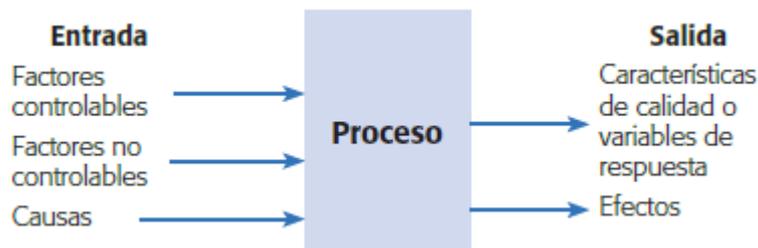
Criterios y fundamentos

En los procesos de extrusión, las temperaturas de extrusora, de masa y de "die" son modificados hasta obtener un producto que cumpla con las especificaciones requeridas. Esto por lo general está a cargo de personal especializado el cual, en la puesta a punto de la máquina realiza la parametrización de la misma, llevando una vez que considera terminada dicha puesta a punto, una muestra a personal de calidad a fin de corroborar las propiedades dimensionales, de aspecto y mecánicas, a fin de continuar con la producción del producto en cuestión.

La combinación de temperaturas es casi ilimitada y dependerá de su parametrización en que el compuesto posea una buena y correcta fusión. En general, para que la fusión sea adecuada, el perfil de temperaturas a utilizarse deberá ser incremental, pero en algunos casos puede requerirse un perfil de temperaturas invertido aunque esto no es siempre deseable. Existen además perfiles de temperatura planos, aunque estos no utilizan las ventajas que da el control de temperatura de la extrusora y rara vez se consigue una buena fusión del material. Existen también los perfiles de temperatura de tipo "joroba" en donde se va aumentando progresivamente y luego disminuyendo para terminar casi en la misma temperatura inicial. La elección de estos lo determinará la combinación de parámetros ambientales, geometría del perfil y características del compuesto.

Para limitar el alcance de este documento, no se considerarán en el presente trabajo las demás variables que influyen en el proceso como ser vacío, torque, dosificación, velocidad de tiro, etc. Las mismas se dejarán constantes para todos los ensayos a fin de concentrarnos en la optimización de las temperaturas.

El diseño de experimentos es clave en la determinación de la importancia de los factores que influyen en un proceso dado y su combinación óptima. La realización de experimentos en donde se evalúa un factor por vez (OFAT o One Factor At Time) si bien es correcta, es ineficiente dado que impide observar las mejores condiciones de combinación entre factores. El diseño de experimentos consiste en realizar una serie de pruebas en las que se inducen cambios deliberados en las variables de un proceso de manera que es posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida elegida. El DOE es altamente efectivo para aquellos procesos cuyo rendimiento se ve afectado por varios factores. Se consideran factores a todos aquellos elementos variables que pueden ser controlados por el experimentador y que tienen incidencia en las variables de respuesta.



En un DOE se define como "nivel" los diferentes valores que se asignan a un factor. Una combinación de niveles de todos los factores se denomina "tratamiento" o "punto de diseño".

Nivel de velocidad	Nivel de temperatura	Tratamiento	y
1	1	1	?
2	1	2	
1	2	3	
2	2	4	

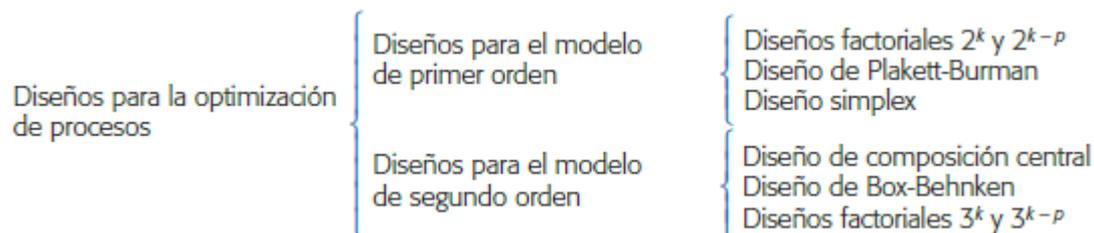


Los cinco aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian por lo general nos llevan a cambiar de diseño, son:

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a estudiar.
3. El número de niveles que se prueban en cada factor.
4. Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

En función de lo expuesto, la propuesta de experimentación realizada en este trabajo intentará realizar la determinación de los puntos óptimos de operación del proceso.

Introduciéndonos en los modelos recomendados para este tipo de estudio encontramos:



En función del costo de los ensayos, se seleccionará un modelo Box-Behnken con el cual se generarán 54 corridas, dado que el limitante es el ensayo de impacto Charpy, el cual debe ser tercerizado y es el que mayor costo representa. El resto de los ensayos puede ser realizado de manera interna, por lo que el costo es absorbido por la estructura.

Una vez realizadas las corridas se generará una superficie de respuesta con cada una de las variables de respuesta, en donde se observarán mediante un software las distintas combinaciones y sus resultados. El software que a utilizar será el Minitab 18.1

Metodología

Trabajando sobre una extrusora de perfiles doble tornillo KMD 90, se relevó con el personal especializado respecto a las variables de temperatura utilizadas para los procesos habituales.



Extrusora Krauss Maffei KMD 90

En dicho relevo se identificaron doce zonas de temperatura. Estas son censadas mediante controladores marca Krauss Maffei (incorporados al PLC de la máquina) y termocuplas marca Gefran, cuyos estados de calibración se verifican en el tablero de la máquina y son seguidos internamente en la empresa mediante un plan anual de mantenimiento, el cual plantea la verificación de dichas termocuplas mediante un controlador de procesos Fluke 726 con trazabilidad al INTI.



Sensor de presión y temperatura marca Gefran



Controlador de proceso Fluke 726 con trazabilidad al INTI

La presión de masa es verificada mediante el sensor arriba mencionado y es calibrado de igual manera con el controlador de proceso de manera anual.

En referencia a los vacuómetros, los mismos son verificados con vacuómetros de referencia interna de manera trimestral. Estos vacuómetros de referencia son calibrados de manera externa de manera anual en laboratorios de la red SAC.



En referencia a la velocidad del tren de tiro, la misma es controlada mediante encoders que se calibran de manera anual mediante el mismo controlador de proceso mencionado párrafos arriba.



Con respecto a las zonas de temperaturas que son los factores variables de este trabajo, se indagaron distintas corridas de procesos habituales y de desarrollos previamente realizados. En dichas corridas se identificaron que en varias ocasiones dichas temperaturas son utilizadas de manera que varias zonas repiten la temperatura de la zona anterior, por lo que a fin de acotar los factores para simplificar el modelo factorial y conseguir una matriz económicamente viable para la realización del presente estudio, se agruparon de la siguiente manera:

Factor 1: Z1

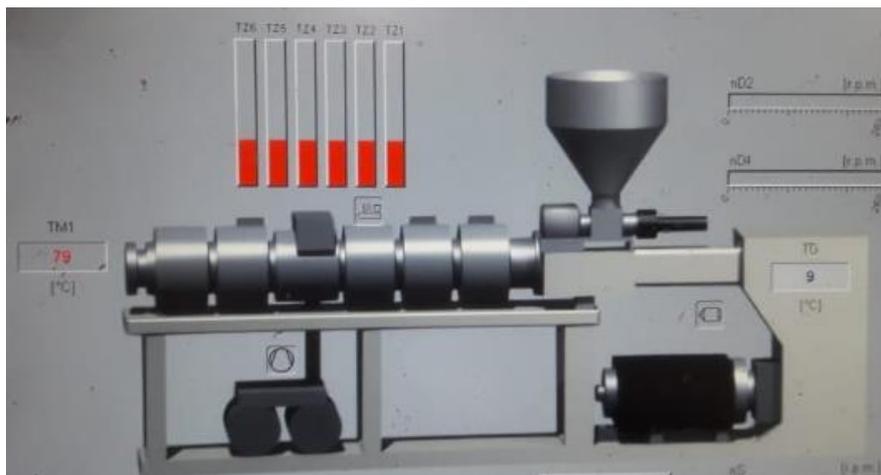
Factor 2: Z2=Z3=Z4

Factor 3: Z5

Factor 4: Z6

Factor 5: TA1 = TA2

Factor 6: Promedio (TW9; TW10; TW11; TW12)



Las matriz de ensayos se planteó entonces conforme a estos 6 factores de compromiso.



La matriz de ensayos conforme al modelo antes indicado (2^{6-1}) se indica a continuación.

En la misma, los ensayos deben llevarse a cabo en el orden indicado, ya que ya está planteada de este modo la aleatorización.

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	T° Z1	T° Z2 Z3 Z4	T° Z5	T° Z6	T° TA1 TA2	Prom T° TD9-10-11- 12
13	1	2	1	167,5	170	170	177,5	188	202
22	2	2	1	167,5	175	188	170	184	206,5
29	3	2	1	165	175	179	170	188	202
16	4	2	1	167,5	180	188	177,5	188	202
26	5	2	1	170	175	179	170	180	202
17	6	2	1	167,5	175	170	170	184	197,5
18	7	2	1	167,5	175	188	170	184	197,5
44	8	2	1	170	175	188	177,5	184	197,5
43	9	2	1	165	175	188	177,5	184	197,5
5	10	2	1	165	170	179	185	184	202
49	11	0	1	167,5	175	179	177,5	184	202
10	12	2	1	167,5	180	170	177,5	180	202
15	13	2	1	167,5	170	188	177,5	188	202
53	14	0	1	167,5	175	179	177,5	184	202
38	15	2	1	167,5	180	179	177,5	180	206,5
21	16	2	1	167,5	175	170	170	184	206,5
34	17	2	1	167,5	180	179	177,5	180	197,5
27	18	2	1	165	175	179	185	180	202
54	19	0	1	167,5	175	179	177,5	184	202
4	20	2	1	170	180	179	170	184	202
51	21	0	1	167,5	175	179	177,5	184	202
12	22	2	1	167,5	180	188	177,5	180	202
9	23	2	1	167,5	170	170	177,5	180	202
39	24	2	1	167,5	170	179	177,5	188	206,5
14	25	2	1	167,5	180	170	177,5	188	202
1	26	2	1	165	170	179	170	184	202
46	27	2	1	170	175	170	177,5	184	206,5
32	28	2	1	170	175	179	185	188	202
33	29	2	1	167,5	170	179	177,5	180	197,5
20	30	2	1	167,5	175	188	185	184	197,5
48	31	2	1	170	175	188	177,5	184	206,5
42	32	2	1	170	175	170	177,5	184	197,5
36	33	2	1	167,5	180	179	177,5	188	197,5
11	34	2	1	167,5	170	188	177,5	180	202



OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	T° Z1	T° Z2 Z3 Z4	T° Z5	T° Z6	T° TA1 TA2	Prom T° TD9-10-11- 12
35	35	2	1	167,5	170	179	177,5	188	197,5
37	36	2	1	167,5	170	179	177,5	180	206,5
40	37	2	1	167,5	180	179	177,5	188	206,5
30	38	2	1	170	175	179	170	188	202
6	39	2	1	170	170	179	185	184	202
24	40	2	1	167,5	175	188	185	184	206,5
19	41	2	1	167,5	175	170	185	184	197,5
41	42	2	1	165	175	170	177,5	184	197,5
25	43	2	1	165	175	179	170	180	202
2	44	2	1	170	170	179	170	184	202
23	45	2	1	167,5	175	170	185	184	206,5
8	46	2	1	170	180	179	185	184	202
3	47	2	1	165	180	179	170	184	202
45	48	2	1	165	175	170	177,5	184	206,5
52	49	0	1	167,5	175	179	177,5	184	202
50	50	0	1	167,5	175	179	177,5	184	202
7	51	2	1	165	180	179	185	184	202
47	52	2	1	165	175	188	177,5	184	206,5
31	53	2	1	165	175	179	185	188	202
28	54	2	1	170	175	179	185	180	202

Resumen de los beneficios esperados

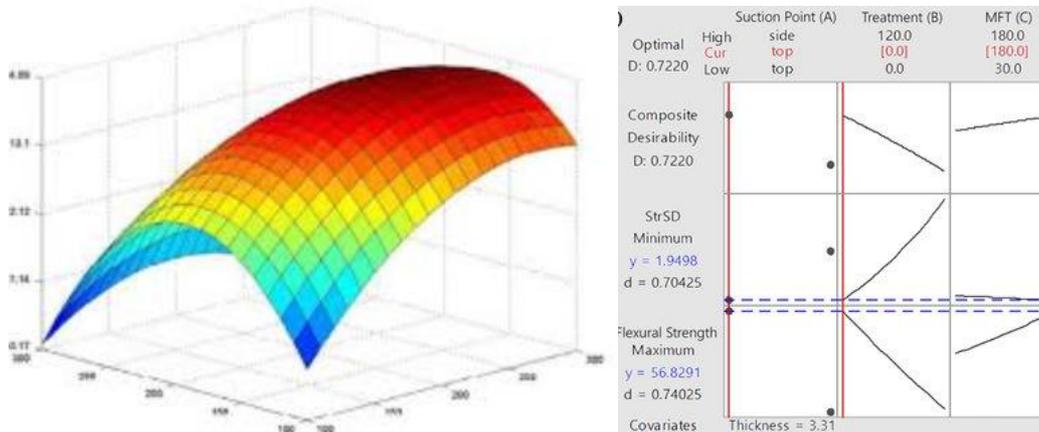
Mediante el presente trabajo se pretende determinar las mejores condiciones de trabajo en función de las propiedades mecánicas para un compuesto de PVC rígido de condiciones conocidas y constantes.

Existe al momento, una amplitud de temperaturas utilizadas durante el proceso de manufactura para las cuales se pretende dar un marco teórico que permita acotarlas en función de los datos arrojados por este trabajo.

El resultado del presente dará a los operadores del proceso un algoritmo de simulación el cual, para cualquier situación de temperatura condicionada por el entorno (cualquiera de los seis factores definidos que por algún motivo deba parametrizarse en un valor constante) seleccionar el resto de los factores para lograr los mejores resultados. Con esto se podrá conseguir un proceso y un producto más homogéneo y acotado, que permitirá la reducción del desperdicio, la disminución en los correspondientes Cp y Cpk dimensionales y físicos, por ende, el porcentaje de reclamos.

Análisis de la situación final prevista

Al culminar los ensayos planteados por la matriz factorial, se poseerá para cada variable de respuesta un plano de superficie de respuesta el cual se podrá "explorar" manejando cada factor individualmente, calculando con dicha variación la respuesta prevista para el modelo, con lo que se podrá para lograr la optimización del mismo conforme a la variación de cada factor.



Conclusiones finales, impactos a corto y mediano plazo

Está previsto que el presente trabajo tenga una duración aproximada de 2 años y medio, considerando que se realizan por mes al menos 2 campañas del producto seleccionado para el análisis.

Para los ensayos que se realizan de manera interna, los mismos pueden ser absorbidos por la estructura y no representan un costo significativo que requiera un cálculo individual para ellos lo mismo que el costo de producción de los mismos, el cual se coordinará para coincidir con las campañas planificadas para la producción. Por el contrario, el ensayo de Charpy deberá tercerizarse, considerándose a la fecha un costo total por toda la matriz de ensayos de unos U\$S 2200 para las 54 corridas (unos U\$S 880 / Año)

Los impactos a corto plazo solo serán del tipo conceptual. La organización entenderá que es necesario realizar un proceso sistemático de optimización que es complementario al expertise de su personal altamente calificado.

A mediano y largo plazo, se poseerá una matriz robusta que de validarse, abrirá la puerta a la optimización del resto de los herramientas.

Bibliografía

Análisis y diseño de experimentos, Pulido/Salazar, 2ª ed, Mc Graw Hill

Probabilidad y estadística para ingenieros, Walpole/Myers/Myers, 6ª ed, Prentice Hall

Estadística Elemental, Johnson Kuby, 3ª ed, Math Learning

Extrusion, the definitive processing guide and handbook, Giles/Wagner/Mount, Pdl

Ayuda online de Minitab 18.1