

DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UNA MICRO PLANTA DE RECICLAJES DE PLÁSTICO

Paulina Carrasco¹, Ingrid Jamett y Katherine Berrios.
Depto. Ingeniería Industrial, Universidad de Antofagasta, Chile.

ABSTRACT

The large number of plastic products produced today requires the reuse and recycling of these products. In Antofagasta, currently there are few enterprises related to the recycling or reuse of plastic, in the composition of the garbage collected in homes it is found that more than 60% corresponds to plastics and cardboard. The existing plants, of treatment and recovery of the plastic, use a high volume of said material, which is almost impossible to achieve without an automated collection, separation and classification system. Currently the Department of Industrial Engineering, with a micro recycling plant, which was funded by CORFO, through the award of the Green Plastic project, which allowed to obtain, as a prototype, from an open design obtained from the Precius Plastic platform, four machines: Chopper, Injector, Extruder and Oven or compressor. Once the machines were put into operation, they presented various operating problems, which is why this research project was born, whose objective is to establish the best operating conditions for a micro plastic treatment plant. Therefore, it is sought to determine the quality of plastic to be obtained through the plastic recycling process.

KEYWORDS: recycling, plastic, operation, conditions, experiment design.

MSC: 90B36, 62K99

RESUMEN

La gran cantidad de productos plásticos que se producen en la actualidad requiere la reutilización y reciclaje de estos productos. En Antofagasta, actualmente son escasos los emprendimientos relacionados con el reciclaje o reutilización de plástico, en la composición de la basura recolectada en los hogares se constata que más del 60% corresponde a plásticos y cartones. Las plantas existentes, de tratamiento y recuperación del plástico, utilizan un alto volumen de dicho material, lo cual es casi imposible de conseguir sin un sistema de recolección, separación y clasificación automatizada. Actualmente el departamento de Ingeniería Industrial, cuenta con una micro planta de reciclaje, la cual fue financiada por CORFO, mediante la adjudicación del proyecto Plástico Verde, el cual permitió, obtener a manera de prototipo, desde un diseño abierto obtenido de la plataforma Precius Plastic, cuatro máquinas: Picadora, Inyectora, Extrusora y Horno o compresora. Una vez puestas en marcha las máquinas presentaron diversos problemas de operación, es por este motivo que nace este proyecto de investigación, cuyo objetivo es establecer las mejores condiciones de operación para una micro planta de tratamiento de plástico. Por lo tanto, se busca determinar la calidad de plástico a obtener mediante el proceso de reciclaje de plástico.

PALABRAS CLAVES: reciclaje, plástico, operación, condiciones, Diseño de experimento

1. INTRODUCCIÓN

Latinoamérica y el caribe son la quinta región en el mundo en generación de residuos, son unas de las regiones donde menos se recicla, solamente un 4.5% de los residuos se reciclan, este reciclaje generalmente se realiza de manera informal, con personas recogiendo residuos de las calles. (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018).

La producción mundial de plástico va en aumento, el factor para explicar el aumento del plástico es su uso en los empaques, los cuales presentan cerca del 42% de la producción de plástico no fibroso en 2015. El sector de la construcción es el siguiente consumidor más grande de plástico, utilizando un 19% del plástico no fibroso producido. (Geyer, R. Jambeck, & Lavender, 2017)

En Chile, el consumo de plástico fue de 1.043.000 de toneladas durante el año 2018, según la información entregada por la Asociación de Industriales del Plástico (ASIPLA) de ese consumo un 65% se utilizó como materia prima, un 7% para exportación y un 28% que fue importado. El consumo de plástico ha ido en aumento, dadas las condiciones de crecimiento y consumo del país aproximadamente un 10% anual. De ese plástico consumido solamente se recicla un 8.5%, según la ASIPLA. Lo que hace imprescindible construir plantas de reciclaje de plástico, para fortalecer la industrial productiva nacional. En Chile el reciclaje de plástico ha cobrado operabilidad al momento de divulgarse la ley de fomento al reciclaje, donde el

¹ paulina.carrasco@uantof.cl

reciclador base es reconocido como un gestor social, indicando que el reciclaje en nuestro país es un tema social, que debiese preocuparnos a cada uno de los componentes de nuestra sociedad.

El 28% del plástico es importado en Chile, por ejemplo, solamente se posee una fábrica productora de polipropileno (plástico tipo 5) PETROQUIM, con una capacidad productiva de 120.000 ton/año. Posee la licencia de Lyondellbasell Polyolefins para el uso de la tecnología Spheripol®, la cual es líder a nivel mundial en la producción de polipropileno.

Reciclaje de plástico

Los métodos de reciclado de plástico son variados, se pueden destacar 3, mecánico, químico y recuperación energética: el reciclaje mecánico, consiste en la clasificación, trituración y limpieza de los productos plásticos se utiliza principalmente en los termoplásticos; el reciclaje químico, es aquel donde las macromoléculas presentes en los residuos plásticos se reducen de tamaño mediante diferentes procesos como la pirolisis, glicolisis, hidrólisis o alcoholisis para obtener los monómeros iniciales bajo peso molecular que pueden servir de materia prima para la polimerización. En la recuperación energética el residuo plástico se emplea como combustible para producir electricidad, vapor o calos en procesos industriales (Urquiza, Ferrando, Luis, & Mospoch, 2016)

Una de las vías industriales más accesibles para reutilizar desechos plásticos es implementar la técnica del reciclado mecánico (Cheng, Yang, Li, Hong, & Jang, 2015). El reciclado mecánico está enfocado principalmente a los polímeros termoplásticos por el hecho de presentar una arquitectura molecular no reticulada, lo cual permite moldearlos con temperatura y presión. Además de representar el 75% del mercado de los polímeros del mundo. Para que el proceso de reciclado mecánico pueda ser viable, de forma ideal, se tienen de dar las siguientes condiciones: (Urquiza, Ferrando, Luis, & Mospoch, 2016)

- Recolección en cantidades suficientes para que sea viable industrial y económicamente su reciclado.
- Diseño de los componentes pensando en el fin de vida (ecodiseño). Se deberían poder desmontar con facilidad y estar fabricados de un solo tipo de material.
- Ausencia de materiales o partículas extrañas que pudieran dañar los equipos de transformación o alterar las características del plástico.
- Que el material no presente excesiva degradación.

El proceso de reciclaje mecánico de materiales plásticos presenta varias etapas que dependen del material que se pretende reciclar. En el caso de la recuperación de los plásticos presentes en la recogida selectiva, son necesarias las etapas de separación de los diferentes grupos de materiales plástico para aislar el material deseado. Los métodos de separación empleados de forma más habitual son: manual, flotación, hidrociclón y centrifugación. Existen otros métodos que se encuentran en fase de experimentación, de momento son poco utilizados, como los de disolución selectiva, separación electrostática, separación por láser o separación espectroscópica.

Luego de la separación, se necesita adecuar el residuo con el objetivo de obtener un producto de alta calidad. Normalmente esta fase consiste en dos tratamientos: purificación, proceso que consiste en la trituración o separación de las partículas metálicas, lavado y secado del residuo dependiendo; mezclado, que consiste en la modificación física, modificación por aditivos, mezcla física, extrusión (plastificación, homogeneización y desgasificación). Con la combinación de estos dos tratamientos lleva al resultado de un material que puede ser altamente competitivo, y en ocasiones puede llegar a cubrir la demanda equivalente a un polímero virgen (Urquiza, Ferrando, Luis, & Mospoch, 2016)

Planta de reciclaje mecánico

Chile, necesita aumentar su competitividad a nivel mundial para convertirse en un país desarrollado. Para mejorar sus niveles de crecimiento y desarrollo económico, se requiere reformar las pequeñas y medianas empresas (Pymes), son agentes importantes en la estructura económica de los países de la región no sólo por su participación en el total de firmas sino también por su aporte al empleo y, en menor medida, al producto. Sin embargo, la presencia de las pymes en las exportaciones de los países de la región es, en general, baja. Se propone la creación de una planta técnica simple, capaz de producir artículos utilitarios finales a partir de plástico recogido en un radio urbano menor. El alcance de cada una de las plantas es concentrado en pequeñas muestras poblacionales dando paso a la generación de emprendimientos locales y focalizado en organizaciones que busquen generar un impacto ambiental social y ambiental unido a los posibles retornos financieros.

Para la creación de la planta se utilizan las características técnicas publicadas en la página abierta “Precius Plastic”, es importante destacar que las maquinas fueron construidas completamente en la Universidad de Antofagasta, en el Centro de Pilotaje Desierto de Atacama, es por eso fue necesario adaptar los cálculos que

caracterizan las condiciones puntuales de operación dada la utilización que se les dará a las máquinas. Actualmente la micro planta de reciclaje se encuentra compuesta por cuatro máquinas:

Trituradora: La máquina trituradora es el elemento fundamental para comenzar con el proceso productivo de reciclaje de plástico. La trituradora permite que objetos grandes sean triturados en hojuelas lo cual permite que sea mucho más fácil de almacenar y después trabajar con las otras máquinas. El plástico triturado se derrite con mayor rapidez y eficiencia. Así que esta máquina es la más importante para el proceso de reciclaje.

Extrusora: La máquina extrusora es una de las más poderosas para el proceso de reciclaje. Puede crear productos únicos y estar en constante funcionamiento. Esta máquina puede estar en funcionamiento de manera continua. Con la máquina extrusora se pueden crear filamentos para ser utilizados en el proceso de impresión en 3D o se puede trabajar creativamente con moldes.

Inyectora: La máquina inyectora es una máquina rápida que permite la producción de productos pequeños y precisos mediante la inyección de plástico fundido en moldes predeterminados, este proceso es manual ya que no se dispone de un motor que ayude a la inyección del plástico.

Compresora: La máquina compresora consiste en un horno eléctrico de cocina para calentar el plástico y un gato hidráulico que ayuda a aplicar más presión al molde. El proceso es generalmente más lento, sin embargo, permite trabajar con objetos más grandes. Esta máquina puede ser usada para crear nuevos materiales como láminas de plástico que se pueden combinar con otros elementos para crear productos nuevos.

Una vez construidas las máquinas se debió realizar un estudio de factibilidad técnica, por lo que se descartará de este estudio la máquina Inyectora por considerarse riesgosa para el uso dadas sus condiciones de operación en Chile, ya que el diseño inicial implica que la operación de esta máquina no da cumplimiento con el reglamento del ministerio de salud, al ser un movimiento repetitivo y con una carga mayor a 3 kg. La normativa específica es la siguiente: ARTÍCULOS DE LA LEY 20.001 REGULA EL PESO MAXIMO DE CARGA HUMANA Artículo 211-G.- “El empleador velará para que en la organización de la faena se utilicen los medios adecuados, especialmente mecánicos, a fin de evitar la manipulación manual habitual de las cargas. Asimismo, el empleador procurará que el trabajador que se ocupe en la manipulación manual de las cargas reciba una formación satisfactoria, respecto de los métodos de trabajo que debe utilizar, a fin de proteger su salud.” Artículo 211-H.- “Si la manipulación manual es inevitable y las ayudas mecánicas no pueden usarse, no se permitirá que se opere con cargas superiores a 50 kilogramos”

Dadas las condiciones de operación de la trituradora (tamaño) solamente se considerará el plástico tipo 5: Polipropileno (PP) que se encuentra disponible en las tapas de bebidas de fantasía que se utilizan en los hogares, unas de las propiedades fundamentales del polipropileno es la fusión sin descomposición, que es cuando al fusionarse el plástico no cambia su color, esto es una ventaja ya que se puede jugar con los colores del plástico, sin necesidad de agregar algún otro producto, permitiendo así realizar artículos atractivos para los clientes.

Facilita el reciclaje la utilización de tapas de bebidas de fantasía, ya que no es necesario lavarlas porque un 90% de estas vienen limpias, y en general están compuestas solamente por polipropileno, un 5% posee una lámina de plástico en su interior, la cual es necesaria eliminar antes del proceso de trituración.

La propuesta considera además la creación de dos tipos de redes: la primera de ellas para atender el abastecimiento de materia prima para la planta, la que consiste en plástico reutilizado; y la segunda de ellas conformada por empresas que utilizaran los productos generados en la planta, siendo esto parte del programa de responsabilidad social de cada empresa. En virtud de estos antecedentes, el bajo costo de inversión, mantención y operación de la planta, unido a la creación de una red de clientes, otorga un alto nivel de sostenibilidad del proyecto en el tiempo.

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño de experimento

El diseño estadístico de experimentos es una forma eficaz de hacer pruebas, consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionan evidencia objetiva que permite responder las interrogantes planteadas, y de esta manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras. (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2012) (Ruotolo, 2005) (Sjobl0111, 2005) (Alberto Olivo, 2020) (Rafael-Valdivia, 2019). Algunos de los problemas típicos que se pueden resolver con el diseño y análisis de experimentos son: comparar dos o más materiales con el fin de elegir el mejor, comparar varios instrumentos de medición para

verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud, determinar los factores de un proceso que tienen impacto sobre una o más características de productos final, encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) en las que se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso, reducir el tiempo de ciclo del proceso, realizar el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales y apoya el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos. (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2012)

El objetivo de este trabajo es establecer las mejores condiciones de operación de la micro placa de tratamiento de plástico, para lo cual se utilizó la metodología matemática estadística de diseño de experimento (DOE), la cual permite realizar un análisis de los resultados experimentales permitiendo obtener conclusiones sobre el sistema en estudio y decidir sobre actuaciones futuras (Box, Hunter, & Hunter, 1989).

La técnica consiste en la realización de una serie de experimentos en los que se inducen cambios deliberados en las variables de procesos, de manera que es posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery.D.C., 2005). Su aplicación es variada, tanto en pruebas de laboratorio, como en la industria

2.2. Selección del diseño de experimento

El enfoque clásico de diseño de experimento es una estrategia en donde la experimentación se utiliza con el propósito de estudiar el desempeño de un proceso o producto (Naranjo Palacios, Rios Lara, Pantoja Pacheco, & Tapia Esquivias Moises, 2020). Un proceso es comúnmente representado como se muestra en la Figura 1, donde se involucran tres tipos de variables: variables controlables (x), son aquellas que el experimentador puede manipular fácilmente; variables no controlables (z), son las que difícilmente el experimentador puede controlar y la variable de respuesta (y) que es la que se pretende medir, la cual es generalmente una característica de calidad. (Montgomery.D.C., 2005).

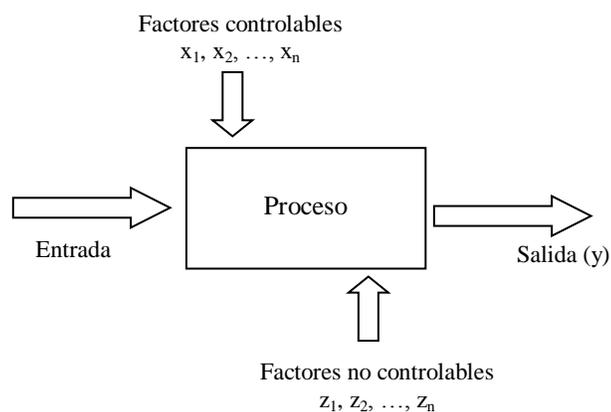


Figura 1: Modelo general de un proceso (Montgomery.D.C., 2005)

Los diseños experimentales de Taguchi están basados en arreglos ortogonales y se hicieron populares por el ingeniero Genichi Taguchi. Normalmente se identifican con un nombre en arabe como L8, que indica un arreglo con 8 corridas. Los diseños experimentales clásicos también están basados en arreglos ortogonales, pero se identifican con un exponente para indicar el número de variables, así un diseño experimental clásico 2^3 también tiene 8 corridas. (Kavanaugh, 2002)

Así, los diseños generados por los dos métodos parecen ser similares, de esta forma algunas industrias y organizaciones que están del lado de los métodos de Taguchi y otros se inclinan por el método clásico del diseño factorial, en la tabla N°1 se presenta una comparación del énfasis que realiza cada metodología al desarrollar el experimento.

Metodología Clásica	Metodología de Taguchi
Experimentación secuencial para modelar el comportamiento del proceso, por ejemplo, para desarrollar modelos empíricos del proceso incluyendo el efecto de los factores de ruido	Diseño Robusto, minimiza los factores de ruido, considerados implícitos en el proceso.
Predicción del comportamiento futuro del proceso, incluyendo los efectos óptimos, de los modelos empíricos.	Minimiza la función de pérdida, minimización de la pérdida económica debido a las corridas en condiciones no – optimas

Investigación el aislamiento de factores que afectan a la media y a la varianza, independientemente.	Alcanza los mejores objetivos del proceso bajo las condiciones no controlables (ruido)
Selección del diseño experimental, considerando las salidas, esto, en corridas de fracción de un diseño factorial completo, por ejemplo, un diseño 2^{8-4} , investiga los efectos de los 8 factores en 16 corridas, y las salidas son conocidas antes de correr el experimento. La experimentación adicional puede ser requerida para identificar claramente los efectos de sus interacciones.	Selección del diseño experimental para examinar las graficas lineales, que permiten además la investigación de las interacciones de los efectos deseados, basado en el proceso conocido.

Tabla N°1 Comparación de lo que enfatiza cada una de las metodologías de diseño de experimento (Kavanaugh, 2002)

2.3. Diseño factorial 2^k

Para realizar la determinación de condiciones de operación de la micro planta de reciclaje se realizó un diseño de experimento del tipo clásico (diseño factorial 2^k) ya que no se necesita conocer, en esta investigación inicial, si existe interacción entre las variables porque aun no se conoce el efecto de las variables principales sobre la variable dependiente, además la naturaleza secuencial de la experimentación clásica permite incrementar modelos empíricos complejos para predecir el comportamiento de procesos futuros (Kavanaugh, 2002).

Un diseño con k factores que tienen dos niveles requiere de un numero de replicaciones igual a 2^k observaciones, en este tipo de modelo se asume que los efectos son fijos y la aleatorización completa y se consideran las mismas restricciones que en el caso de los diseños factoriales típicos. (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2012). Con el diseño factorial completo 2^k se pueden estudiar en total los 2^{k-1} efectos siguientes:

$$\binom{k}{1} = k, \text{ efectos principales} \quad \binom{k}{2} = \frac{k(k-1)}{2}, \text{ Interacciones dobles}$$

$\binom{k}{3} = \frac{k!}{3!(k-3)!}$, interacciones triples, así hasta la cantidad de factores que se utilicen para el experimento

$$\binom{k}{k} = 1, \text{ interacciones de los k factores}$$

3. RESULTADOS

3.1. Diseño para Micro planta de procesamiento de plástico

Para poder diseñar el experimento, para la micro planta de tratamiento de plástico, es necesario establecer los productos que se generarán, en la tabla N°2 se presentan los productos que se generarán con la Micro plata de reciclaje.

Maquina	Producto
Trituradora	Chips
Extrusora	Filamento para impresora 3D
Compresora	Diferentes productos, según moldeado. Entre ellos Macetero, llavero, tabla de cortar, etc.

Tabla N°2: Productos generados por la micro planta de reciclaje

Las maquinas se consideran como procesos en línea, ya que se formarán conjuntos de operaciones para generar los diferentes productos, en la figura 2 se muestra la configuración de la micro planta de reciclaje. Se formaron dos conjuntos de procesos, independientes, ambos conjuntos se encuentran compuestos por la trituradora como proceso inicial y alimentador de ambas maquinas (extrusora e inyectora), para poder generar los productos descritos en la tabla N°2

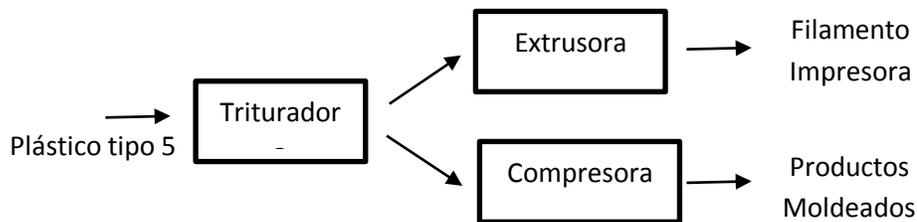


Figura N°2: Proceso productivo Micro planta de reciclaje

Para la configuración Trituradora – Compresora, se utilizará la metodología de diseño de experimento, ya que actualmente con esta configuración se están generando productos. Para la configuración Trituradora – Extrusora, la operación presenta dificultades de operación, dado que no se han podido solucionar algunos problemas, como lo son la recepción del plástico, la temperatura del filamento y el grosor constante del filamento es por esto que se realizará vigilancia tecnológica, para poder encontrar la mejor forma de operación, pero esa información será parte de otra investigación. La figura N°3 muestra un cuadro resumen de la metodología que se utilizó, para definir las mejores condiciones de operación de la micro planta de reciclaje de plástico.

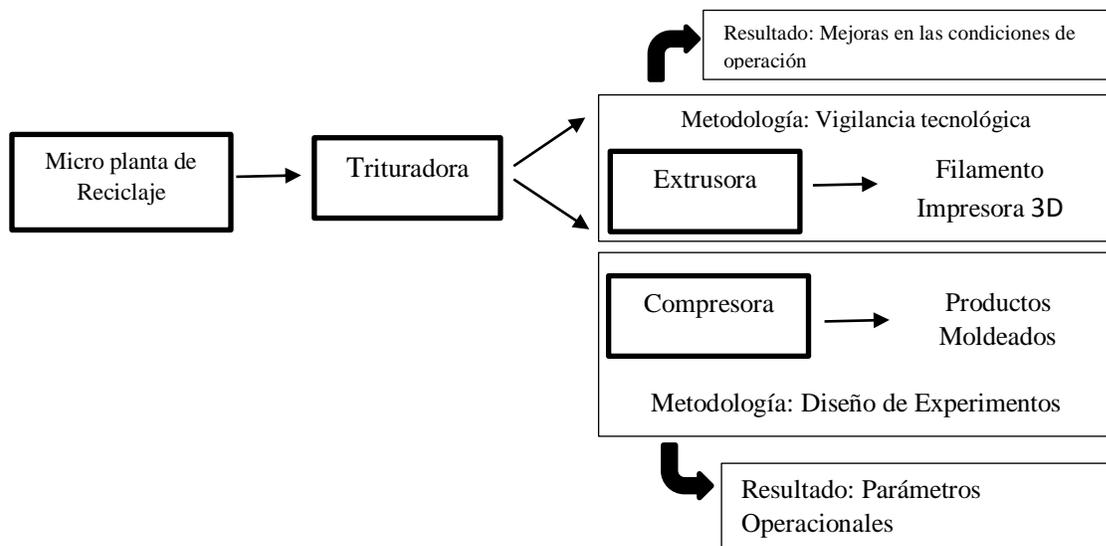


Figura N°3: Metodología de estudio

3.2. Proceso de compresión

El moldeo por compresión es el método de transformación de plásticos más antiguo que existe (Baekeland, 2011). Fue descrito por primera vez a principios del siglo XIX, pero comenzó a utilizarse a escala industrial recién en 1908, cuando se desarrollaron las resinas de Fenol- Formaldehído, que siguen empleándose hoy en día. El moldeo por compresión se utiliza casi exclusivamente para moldear materiales termoestables y, ocasionalmente, para procesar termoplásticos (Baekeland, 2011), lo cual facilita su utilización en la micro planta de reciclaje de plástico, ya que hoy en día utiliza solamente plástico tipo 5: Polipropileno (PP) es un termoplástico, que ha crecido en producción y consumo durante los últimos años principalmente, dado que no ocasiona degradación en los productos de origen vegetal, utilizándose principalmente en la confección de envases (Valea, Juanes, Miguez, & González, 2008)

El proceso de operación de la máquina compresora se realiza, cubriendo el molde de material antiadherente, luego se dispone el plástico triturado dentro del molde, se introduce dentro de la máquina compresora. Previamente en la máquina compresora se establece la temperatura con la cual se va a trabajar, cuando esta temperatura se logra se introduce el molde con el plástico triturado, hasta que el plástico tome temperatura, luego se procede a realizar el proceso de compresión, para que el plástico tome la forma del molde. En la figura N°3 se aprecia cómo se realiza el proceso de compresión

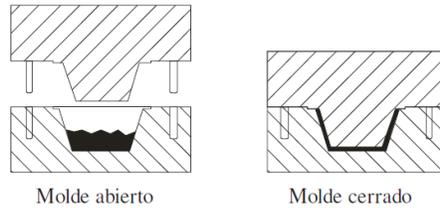


Figura N°3: Proceso de compresión

En la micro planta de reciclaje de plástico se han identificado las principales fuentes de variación del proceso de compresión, estas fueron identificadas mediante un proceso de ensayo y error, dado que no se conoce el funcionamiento teórico de la maquina compresora, porque fue ensamblada completamente por mecánicos de la Universidad de Antofagasta. Las fuentes de variación son:

1. Cantidad de plástico en el molde: Esta variable indica el porcentaje de plástico triturado que se agrega al molde, puede ocasionar rebalse del molde o falta de material para el moldeado del producto
2. Temperatura del horno: fundamental para el proceso de moldeado, ya que el plástico a cierta temperatura se cristaliza, produciendo que el moldeado no se pueda realizar.
3. Tiempo de compresión: indica el momento en el cual se va a realizar la compresión, para que esta funcione correctamente.
4. Tamaño inicial del plástico triturado: este tamaño lo entrega la trituradora, es el diámetro de la malla que se utiliza como soporte para lograr la trituración de las tapas de plástico.

3.4. Resultados

Los resultados presentados a continuación se realizaron mediante la metodología de diseño de experimentos presentada por Montgomery (Montgomery.D.C., 2005) para un diseño factorial 2^4 , cuatro factores de variación con dos niveles cada uno, analizados con el programa estadístico Minitab (Minitab 19, 2019). Para el diseño factorial 2^4 , que se utilizó para realizar este análisis, los factores de tratamiento fueron la cantidad de plástico en el molde (PP), temperatura del horno (T°), Tiempo de compresión (t) y el tamaño inicial del plástico triturado descritos anteriormente (D). Como variable dependiente y condiciones de calidad del producto, se considera la dureza shore D del producto terminado (después del proceso de compresión). Se entiende por dureza de un material a la resistencia que opone el material a su deformación plástica, elástica o destructiva debido a la acción de esfuerzos de contacto locales originados por otro cuerpo (llamado indentador o penetrador), más duro, de determinada forma y dimensiones, el cual no sufre deformaciones residuales durante el contacto. (Alkorta & Gil Sevillano, 2005).

En los termoplásticos la dureza se mide en Shore A y Shore D según ISO 868. La dureza Shore es una medida de la resistencia de un material a la penetración de una aguja bajo una fuerza de resorte definida. Se determina como un número de 0 a 100 en las escalas A o D. Cuanto mayor sea el número, mayor será la dureza. La letra A se utiliza para los tipos flexibles y la letra D para los tipos rígidos. Sin embargo, los rangos se superponen. (Valea, Juanes, Miguez, & González, 2008).

En la tabla N°3 se presentan los parámetros operacionales teóricos de los factores que ocasionan variación dentro del proceso de compresión, estos valores fueron entregados por el fabricante el Centro de Pilotaje Desierto de Atacama, en el informe técnico final de diseño y construcción de microplanta de reciclaje "Plástico verde: una experiencia de inclusión y responsabilidad"

Factor	Nivel del factor	
	(+)	(-)
Cantidad de plástico en el molde (PP)	30%	20%
Temperatura del horno (T°)	240°C	210°C
Tiempo de compresión (tp)	60 min	45 min
Tamaño Plástico triturado (D)	5.5 mm ³	4 mm ³

Tabla N°3: Parámetros Teóricos de la operación de la Micro planta de reciclaje de plástico, proceso compresión

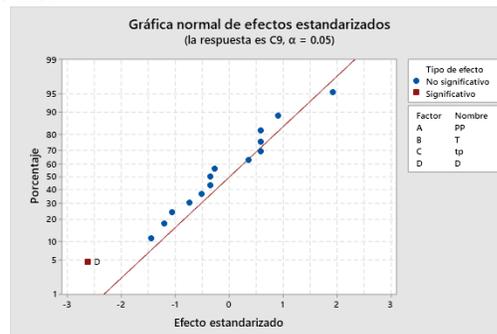
En la realización del diseño es necesario analizar la cantidad de replicas que se realizarán para cumplir con la fiabilidad del experimento, Montgomery indica que para un diseño 2^4 es necesario realizar 3 réplicas de este experimento (Montgomery.D.C., 2005), considerando que una réplica son múltiples corridas experimentales con la misma configuración de factores (niveles). Las réplicas están sujetas a las mismas fuentes de variabilidad, de forma independiente unas de otras. Usted puede replicar combinaciones de niveles de factores, grupos de combinaciones de niveles de factores o diseños enteros. En la tabla N° 4 se presenta el diseño del experimento 2^4 con 3 réplicas.

Corr	A	B	C	D	Resp.	Corr	A	B	C	D	Resp.	Corr	A	B	C	D	Resp.
1	-	-	-	-	71	17	-	-	-	+	68	33	-	+	-	+	65
2	-	+	-	-	68	18	+	+	-	-	73	34	+	-	+	+	71
3	+	+	-	+	62	19	-	+	-	-	70	35	-	-	+	-	70
4	-	+	+	+	62	20	-	-	+	+	70	36	+	-	-	+	68
5	-	+	-	-	69	21	-	-	-	+	66	37	+	+	+	-	73
6	+	+	-	-	73	22	-	+	-	+	73	38	+	-	+	-	75
7	+	-	-	+	69	23	-	-	-	-	68	39	-	+	+	+	64
8	-	+	+	-	72	24	+	+	+	+	70	40	-	-	-	-	66
9	+	+	+	+	65	25	+	-	+	+	72	41	-	+	+	+	65
10	+	-	-	-	67	26	+	-	-	+	64	42	+	-	+	+	65
11	-	-	+	+	71	27	+	+	-	-	69	43	-	-	+	-	65
12	+	+	-	+	71	28	+	+	+	+	66	44	+	-	+	-	75
13	+	-	+	-	67	29	+	+	-	+	73	45	-	+	-	+	63
14	-	-	+	-	70	30	-	+	+	-	63	46	+	+	-	-	75
15	-	-	+	+	64	31	+	-	-	-	74	47	+	+	+	-	68
16	-	-	-	+	74	32	-	+	+	-	73	48	+	+	+	-	74

Tabla N°4: Diseño Factorial con variable de respuesta

3.5. Análisis de datos

Una vez realizado el experimento se agregaron los datos y se realizó el análisis con el software Minitab (Minitab 19, 2019), el cual posee un módulo de diseño de experimento. Se analizará la gráfica Normal, para identificar los factores que afectan al proceso, en la gráfica N°1 se muestra la gráfica normal de efectos estandarizados, donde se puede ver que el factor D, tamaño del plástico reciclado es uno de los que influye en la variable respuesta dureza del plástico.



Gráfica N°1: Grafico Normal de efectos estandarizados

En la tabla N°5 se presentan los resultados de los coeficientes codificados, donde el valor de los factores de inflamación de la varianza (FIV) miden que tanto aumenta la varianza de un coeficiente de regresión estimada, aumenta si los predictores están correlacionados, en este caso los valores del FIV todos tiene el valor de uno, lo que indica que no hay multicolinealidad, o sea que las variables no se encuentran correlacionadas, permitiendo asegurar que el análisis se puede realizar.

Además en la tabla N°5, se puede analizar la influencia de los factores dado el valor de p, con un nivel de significación de 5%, para todos los valores p menores al nivel de significación los efectos de esos factores son estadísticamente significativos para el modelo de regresión, lo que quiere decir que esos factores influyen en la variable respuesta, entonces el único factor que influye en la variable respuesta el factor D, tamaño del plástico triturado, que tiene un valor de -1.396, lo que indica que si el tamaño del plástico triturado está en su valor (-) de 4 mm^3 se obtendría un promedio de dureza mejorado.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		68.938	0.531	129.79	0.000	
PP	2.042	1.021	0.531	1.92	0.064	1.00
T	-0.375	-0.187	0.531	-0.35	0.726	1.00
tp	-0.375	-0.187	0.531	-0.35	0.726	1.00
D	-2.792	-1.396	0.531	-2.63	0.013	1.00
PP*T	0.958	0.479	0.531	0.90	0.374	1.00
PP*tp	0.625	0.312	0.531	0.59	0.560	1.00
PP*D	-1.125	-0.562	0.531	-1.06	0.298	1.00
T*tp	-1.292	-0.646	0.531	-1.22	0.233	1.00
T*D	-1.542	-0.771	0.531	-1.45	0.156	1.00
tp*D	-0.542	-0.271	0.531	-0.51	0.614	1.00
PP*T*tp	-0.792	-0.396	0.531	-0.75	0.462	1.00
PP*T*D	0.625	0.313	0.531	0.59	0.560	1.00
PP*tp*D	0.625	0.313	0.531	0.59	0.560	1.00
T*tp*D	-0.292	-0.146	0.531	-0.27	0.785	1.00
PP*T*tp*D	0.375	0.187	0.531	0.35	0.726	1.00

Tabla N°5: Coeficientes codificados

4. CONCLUSIÓN

La industria del plástico en Chile posee una alta demanda, dado el crecimiento de la utilización del plástico en empaques, aun Chile no logra tener la capacidad para cumplir con la demanda dado que tiene que exportar un porcentaje del plástico que necesita. El reciclaje de plástico es un tema incipiente en el país, y no se encuentra totalmente industrializado, por lo tanto, se hace necesario generar empresas industrializadas en temas de reciclaje, dado que la demanda existe.

Las micros plantas de reciclajes, serian una solución para generar reciclaje en el país y además fomentar su crecimiento, creando Pymes productoras de elementos reciclados, lo que generara una disminución en la importación de plástico y una mejora al planeta, al reutilizar el plástico disponible, evitando así que contamine.

La sociedad si bien, se encuentra sensibilizada respecto al cuidado del medio ambiente, aún falta mucho camino por recorrer respecto de la instalación de una cultura de reciclaje para contribuir al cuidado del medioambiente, lo que se ve reflejado en los errores que se cometen a la hora de reciclar domiciliariamente, ya que no se cumplen los estándares requeridos para que el material recolectado sea utilizado en su totalidad como materia prima. Ejemplos: envases sucios, cantidad insuficiente por domicilio, considerando la tasa de consumo diario de plástico en cada hogar chileno. Lo anterior, afecta la factibilidad del proyecto, ya que las cantidades recicladas son insuficientes para la sustentabilidad del negocio.

La propuesta de micro plantas es una alternativa de solución a la problemática planteada con anterioridad, a escala humana y local, promoviendo un cambio cultural que transite de lo micro a lo macro y en la cual los beneficiarios directos e indirectos aprendan a valorar el cuidado ambiental, el freno al uso indiscriminado de plásticos y comprender que su reutilización se convierte en un beneficio social y económico. La propuesta que se aspira desarrollar presenta un mejoramiento sustantivo de la situación actual en la comuna de Antofagasta, debido a que se propone una solución integral inexistente en el territorio, a una problemática que no ha sido abordada. El prototipo de microplanta que se diseñe, deberá ser instalado en barrios específicos, cerca de hogares debido a que su éxito radica en una recolección en un radio cercano para el ahorro de transporte y combustible, involucra la colaboración de la comunidad circundante y el acopio no debe ser en volúmenes altos debido a las posibilidades de almacenaje las características técnicas de la microplanta.

Para la planta de plástico analizada se observó que el factor determinante en la dureza del producto generado es el tamaño del plástico reciclado en su valor menor del factor (4 mm^3), lo que hace necesario cuidar es proceso de trituración, para mejorar las condiciones del producto generado. Fue difícil identificar las mejores condiciones de operación para la micro planta de reciclaje de plástico, dado el mal funcionamiento de las máquinas, entonces se puede concluir que es mucho más conveniente adquirir las maquinas ya fabricadas, que fabricarlas desde cero.

RECEIVED: SEPTEMBER, 2020.
REVISED: FEBRUARY, 2021.

REFERENCIAS

- [1] ALBERTO OLIVO, W. A.-V. (2020): Investigation of process parameters assessment via design of experiments for CO₂ photoreduction in two photoreactor. **Journal of CO₂ Utilization**, 15, 25-32.
- [2] ALKORTA, J., and GIL SEVILLANO, J. (2005): Medida de LA DUREZA de sólidos. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, 33, 259-264.
- [3] BAEKELAND, L. (2011): **100 Years of Plastics**. American Chemical Society, N. York.
- [4] BOX, G., HUNTER, W., and HUNTER, J. (1989): **Estadística para experimentadores**. Barcelona: Reverté S.A.
- [5] CHAFFEY, N. K. (1979): Effects of extrusion on the structure and properties of high impact polystyrene. **Polym**, 21, 552-557.
- [6] CHENG, H., YANG, H., LI, C., HONG, J., and JANG, G. (2015): Modification and extrusion coating of polylactic acid films. 24, **J. Appl. Polym. Sci**.
- [7] GEYER, R., R. JAMBECK, J., and LAVENDER, K. (2017): Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, 53, 1-5.
- [8] GUTIÉRREZ PULIDO, H., and DE LA VARA SALAZAR, R. (2012): **Análisis y Diseño de Experimentos**. Mc Graw Hill, Mexico D.F.
- [9] KAVANAUGH, C. (2002): **Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos**. Conciencia Tecnológica, .
- [10] KAZA, S., YAO, L. C., BHADA-TATA, P., and VAN WOERDEN, F. (2018): **What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. World Bank: Urban Development, Washington, DC:.
- [11] MINITAB (VERSIÓN 19). (2019): LLC.. <https://www.minitab.com/es-mx/>
- [12] MEDINA VARELA, P. D., and LOPEZ REYES, A. (2011): Análisis Crítico del diseño factorial a 2k sobre casos aplicados. **Scientia et Technica**, 13, 101 - 106.
- [13] MONTGOMERY, D.C. (2005): **Design and Analysis of Experiments**. John Wiley and Sons Inc; 8va. Edición.
- [14] NARANJO PALACIOS, F., RÍOS LARA, A., PANTOJA PACHECO, Y., and TAPIA ESQUIVIAS MOISÉS. (2020): Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados. **Ingeniería Investigación y Tecnología**, 1-12.
- [15] PAPLOP, F., and VICENTE, J. (1999): **Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva: su potencial para la empresa española**. Fundación COTEC para la Innovación tecnológica, Madrid.
- [16] RAFAEL-VALDIVIA, G. (2019): Mejoras del proceso de diseño en la industria de transistores de microondas. **Revista Facultad de Ingeniería**, 18, 99-122.
- [17] RUOTOLO, L. A. (2005): A Factorial-Design Study of the Variables Affecting the Electrochemical Reduction of Cr(VI) at Polyaniline Modified Electrodes. **Chemical Engineering Journal**, 19, 113-121.
- [18] SJOBL0111, J. E. (2005): Use of Experimental Design in Development of a Catalyst System. **Catalysis Today**, 12, 243-248.
- [19] URQUIZA, E., FERRANDO, H., LUIS, D., and MOSPOCH, M. (2016): Reciclado mecánico de residuos plásticos. Caso práctico: Poliestireno de alto impacto para la fabricación de componentes de TV. **Afinidad LXXIII**, 575.
- [20] VALEA, A., JUANES, F., MIGUEZ, J., and GONZÁLEZ, M. (2008): Aleaciones de polipropileno (PP) y polietileno tereftalato (PET) reciclados y estudio de sus propiedades. **Anales de Mecánica de Fractura**, 38, 748 - 752.
- [21] VARGAS, F., and CASTELLANOS, O. (2005): Vigilancia como herramienta de innovación y desarrollo tecnológico. Caso de aplicación Sector de empaques plásticos flexibles. **Revista de Ingeniería e Investigación**, 15, 32-41.
- [22] VUCHKOV, I. (2001): **Quality Improvement with Design of Experiments**. Springer, Dordrecht.