

Optimización de una mezcla polimérica utilizando materiales de residuos-nuevos para la industria manufacturera

Optimization of a polymer mixture using new-waste materials for the manufacturing industry

Aaron Guerrero Basilio¹, David Sánchez Huitron², Daniel Sánchez Huerta³,
Noe López Perrusquia⁴, Marco Antonio Doñu Ruiz⁵, José Antonio Juanico Lorán⁶,
Andrés López Velázquez⁷, Víctor Jorge Cortes Suarez⁸

Universidad Politécnica del Valle de México, Estancia Investigación-COMECyT,
Grupo Ciencia e Ingeniería de Materiales, MÉXICO

¹ORCID: 0009-0005-5767-5855 | aaron.guerrero.basilio@upvm.edu.mx

Universidad Politécnica del Valle de México, MÉXICO

²ORCID: 0000-0003-3426-3856 | david.sanchez@upvm.edu.mx

³ORCID: 0000-0002-4762-2160 | ingenierodaniel@outlook.com

⁴ORCID: 0000-0001-9209-8612 | nlopezp@upvm.edu.mx

⁵ORCID: 0000-0002-3411-7990 | marco.donu@upvm.edu.mx

⁶ORCID: 0000-0003-4423-6552 | jjuanico@upvm.edu.mx

Universidad Veracruzana, Xalapa Veracruz, MÉXICO

⁷ORCID: 0000-0003-0939-2787 | andlopez@uv.mx

Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, MÉXICO

⁸ORCID: 0000-0002-4249-7102 | vjcs@azc.uam.mx

Recibido 06-05-2024, aceptado 26-06-2024.

Resumen

El presente trabajo tiene como propósito analizar la micro dureza al poliestireno cristal HF555 [1], con máster batch negro para hallar las diferencias entre utilizar diferentes porcentajes de material nuevo-reciclado, las 5 muestras que se utilizaron para el estudio fueron de ramas obtenidas por el proceso de inyección colada fría, estas mezclas van desde el 100% de material reciclado hasta el 100% de material nuevo (virgen) con intervalos de 25% entre cada muestra. Después de realizar 50 indentaciones bajo el método de micro dureza Vickers los resultados demuestran que, si existe diferencia en utilizar más del 50% de material reciclado contra utilizar el 100%, por lo tanto, se puede concluir que utilizar una mezcla con el 75% de material reciclado o más se obtiene una menor resistencia a la penetración del poliestireno coloreado y que a partir de utilizar una mezcla con el 50% reciclado-50% virgen se obtiene una mayor resistencia a la penetración, pues al principio del trabajo se propone que la mezcla ideal sea del 75% reciclado-25% virgen, pero con base a los datos obtenidos no es posible.

Palabras clave: dureza, reciclado, poliestireno, master batch, mezcla.

Abstract

The present assignment has of purpose the analysis of the micro hardness of the polystyrene cristal HF555 with black masterbatch, so that we can find the differences between using different percentages of material new-recycled. The 5 samples that were obtained were injection inlet channels, that go from 100% of recycled material till 100% of new material (virgin) with intervals of 25% between each sample. After performing 50 indentations under the method of micro hardness Vickers, the results show that there does exist differences in using more than 50% of recycled material against using 100% therefore we can conclude that if we use a mixture with the 75% of recycled material or more, we obtain less resistance to penetration on the colored polystyrene and from using a mixture with 50% recycled and 50% virgin, a greater resistance to penetration is obtained. At the beginning of this assignment, the proposal was that the ideal mixture would be 75% recycled and 25% virgin, but based on the data obtained this is not possible.

Index terms: hardness, recyclacy, polystyrene, master batch, mixture.

I. INTRODUCCIÓN

El reciclaje de los plásticos es de vital importancia hoy en día pues la mayoría de los productos que utilizamos son de polímeros y su reciclaje ha ido en aumento en estos últimos años [2], sin embargo, hay poca información al analizar la característica de dureza del poliestireno cristal por ser un termoplástico que destaca a nivel mundial por su ligereza y resistencia atribuida a su estructura, además de ser una de las 5 resinas más producidas [3]. Después de reciclar el poliestireno cristal es necesario saber si esto afecta drásticamente su dureza, si bien para realizar esta caracterización se ve restringida por las condiciones bajo las cuales se obtuvieron las muestras pues fue bajo el proceso de inyección moldeado colada fría, así mismo estas muestras fueron generadas en diferentes porcentajes de intervalos, las cuales comenzaron desde el 0% de material reciclado hasta el 100% de reciclado con intervalos del 25% entre cada uno.

Volver a utilizar estos residuos de poliestireno que se generan en los procesos de moldeo en la industria manufacturera es vital para disminuir la contaminación ambiental que se genera al ser desechados y no podemos dejar pasar por alto que México produce alrededor de 7 millones de toneladas de plástico a nivel mundial [4], así como se observa en la Fig. 1.

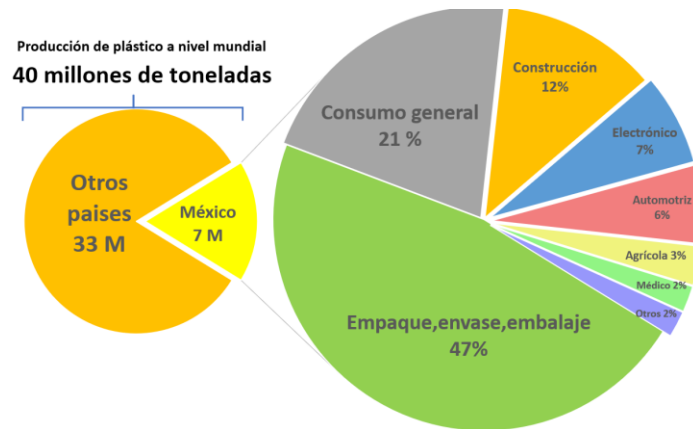


Fig. 1. Producción de plásticos a nivel mundial según ANIPAC (Asociación Nacional de Industrias del Plástico).

Los plásticos se caracterizan por ser excelentes aisladores térmicos y eléctricos, además de su alta relación entre resistencia y densidad, por ejemplo, los plásticos que se ablandan al calor son termoplásticos debido a que sus moléculas son lineales y ramificadas. Por otro lado, están los que se endurecen con el calor, las cuales se denominan termo endurecibles por tener moléculas entrecruzadas [5].

Hoy en día en la industria manufacturera de bolígrafos utiliza el poliestireno cristal en el componente denominado botón, que es la tapa del barril ubicado en la parte superior del bolígrafo como se muestra en la Fig. 2, algunos de los problemas que se llegan a tener durante su ensamble es que en ocasiones se estrellan por su fragilidad derivado por un uso excesivo de material reciclado al momento de moldearse.



Fig. 2. Estrellamiento en la superficie del botón negro.

Derivado del estrellamiento en el componente surge la hipótesis en que utilizar el 75% de material reciclado no tendrá diferencia significativa de micro dureza al utilizar 50% de material reciclado. La muestra se obtiene directamente de la rama generada posterior a su moldeo de las piezas esto con la intención de tener las mismas condiciones de temperatura y presión.

En el diagrama del proceso de moldeo por inyección de colada fría se ejemplifica que la mezcla virgen se deposita en la tolva para ser fundida por la unidad de inyección a 215°C y ser moldeado y enfriado en el molde a una temperatura de 19°C, transcurrido aproximadamente 10 segundos en el molde para solidificarse es expulsada la colada fría por medio de unos botadores los cuales separan las ramas y los botones, así de esta manera la rama es enviada a los molinos para ser triturado y después volver a integrar a la tolva siendo dosificado con una cierta cantidad programada del mismo modo cuando el botón se separa es empacado y enviado al siguiente proceso de ensamble, véase Fig. 3.

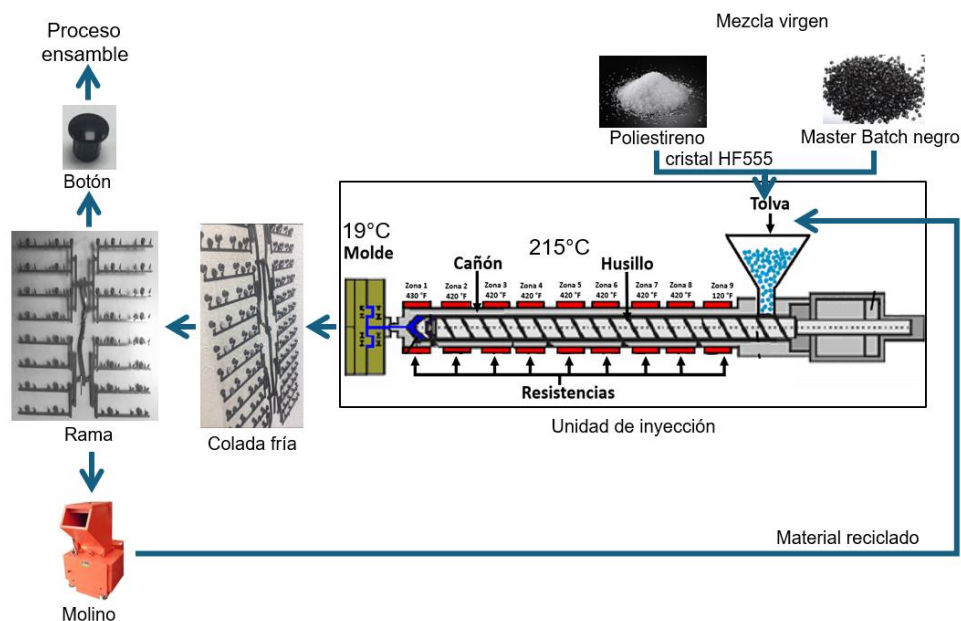


Fig. 3. Proceso de moldeo inyección colada fría.

El objetivo del trabajo es poder utilizar la mayor cantidad de poliestireno cristal reciclado sin afectar la propiedad de dureza. Haciendo mención que el reciclado del material son las ramas que se generan al moldear el componente de colada fría. Una de las limitantes que se tiene es que no se pudieron generar probetas de mancuernas como lo indica la norma ASTM D 638 [6], las cuales ayudarían a poder caracterizar otras propiedades del poliestireno cristal y entender mejor su pérdida de propiedades durante su reciclaje. Es por ello por lo que se optó por realizar micro dureza Vickers según la norma ASTM E- 384 [7], dada la geometría del material que se extrajo directamente de las ramas del molde, esto con el objetivo de poder caracterizar bajo las mismas presiones y temperaturas del proceso de inyección colada fría.

II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A. Generación de muestras

Se realizan 5 muestras con diferentes concentraciones de virgen (V) y reciclado (R), estas se realizan bajo el proceso indicado en la Fig. 3 en procesos comerciales, las concentraciones se enfocan a material caracterizado en concentración, para la muestra 1 se tiene 0%V-100%R, 2 con 25%V-75%R, 3 con 50%V-50%R, 4 con 75%V-25%R y 5 con 100%V-0%R, las dimensiones de las muestras tienen un promedio de 1x0.5x0.5 cm.

B. Encapsulado de muestra

Para el encapsulamiento de las muestras se basa bajo la norma ASTM E384 y utilizó resina de polipropileno cristal para no afectar las propiedades de la muestra [8], se propicia el moldeo en forma de tableta como se muestra en la Fig. 4, el tiempo de curación fue de 72 hrs., posteriormente se prepara la superficie de trabajo con lijas de agua desde el grado 180 hasta 2000 para obtener una superficie lo más lisa posible. Para el acabado final se utiliza pasta de diamante con tamaño de partícula de 1 micrómetro, el equipo utilizado es pulidora Struers Labo Pol-5 y paños microcloth, posterior se gira 90° para que el pulido de la pieza sea uniforme hasta obtener un acabado con la menor cantidad de marcas de rayado, la evaluación final se realiza con microscopio óptico [9]. La superficie de la muestra no debe tener ángulos de inclinación mayor a 2° para que no afecte a las mediciones durante el ensayo de micro dureza Vickers.

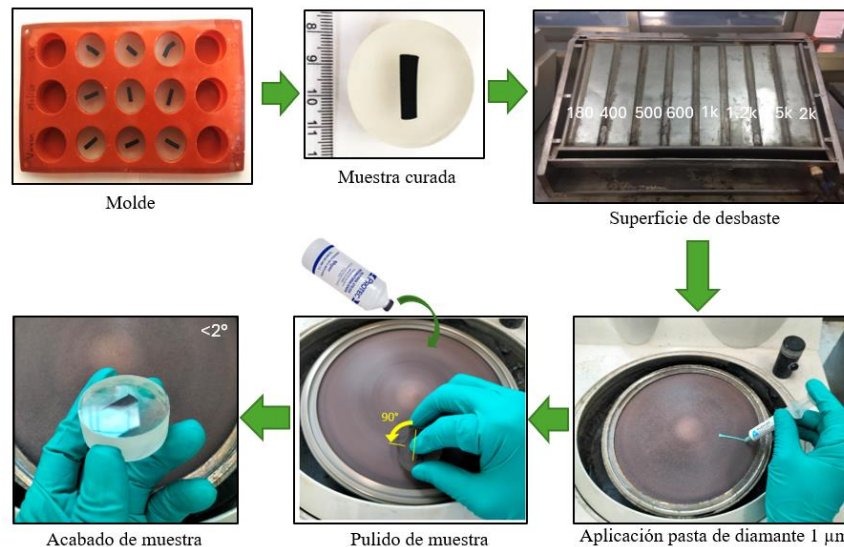


Fig. 4. Proceso de preparación superficial de las muestras encapsuladas.

C. Caracterización y ensayos de micro dureza

Los ensayos de micro dureza se realizan con durómetro Vickers PTS CIENTEC (véase Fig. 5a) con resolución de 10-1000gf, la carga aplicada es de 50 gf con 10 segundos de espera en carga aplicada. Se realizaron 10 micro indentación por cada espécimen estudiado, la distancia de cada ensayo se realiza por cada 5 diagonales, la alineación del ensayo se realiza respecto al indentador ($90^\circ \pm 2^\circ$), véase Fig. 5 [10], posteriormente se evalúan las huellas en microscopio óptico, véase Fig. 5b.



Fig. 5. a) Durómetro Vickers PTS CIENTEC con resolución de 10-1000 gf y b) huella generada por la micro indentación en la muestra 1 con una carga de 50 gf durante un tiempo de 10 segundos (DWELL).

Los resultados de dureza Vickers se obtuvieron directamente del durómetro, sin embargo, se corroboran al utilizar las fórmulas (1) y (2) para su cálculo [11]:

$$HV = \frac{2 F \operatorname{sen}\left(\frac{136}{2}\right)}{D^2} \quad (1)$$

El cálculo de la distancia promedio de la diagonal se determina con la ecuación (2):

5

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (2)$$

D. Método Tukey

Para el tratamiento de datos se generan las gráficas de gauss para poder establecer la normalidad, posteriormente se evalúa con método ANOVA (análisis de varianza), se crean intervalos de confianza y así poder utilizar el método Tukey. Para el cálculo de la información se utilizó el software Minitab, cabe mencionar que para el análisis de datos se utilizó un intervalo de confianza del 95% con determinación de sección específica mediante la ecuación (3); una vez encontrado el valor de T_α se procede a calcular las diferencias que existen entre las medias de las muestras para establecer cuáles están por encima de T_α y fundamentar las muestras que tienen diferencias significativas entre sí.

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) \sqrt{\frac{CM_E}{n_i}} \quad (3)$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con los datos de normalidad que se muestran en la Fig. 6 se evidencia que el rango de todos los datos de dureza se encuentra entre 17.5 a 20.4 HV, tiende a mayor amplitud para la muestra 1 que es 100 % material reciclado, mostrando un comportamiento mesocúrtico, con comportamientos leptocúrticos para las demás campanas normales, así mismo, se puede observar que la muestra 2 tiene un desplazamiento de hasta el 0.85 % a la izquierda respecto a la muestra 100 % con material reciclado, para las muestra 3, 4 y 5 se detecta un desplazamiento a la derecha de hasta 4.03, 2.33 y 2.97 % respectivamente comparadas con la probeta 1, visualizándose un aumento de dureza Vickers, la muestra 3 (50%V-50%R) es la que tiene mayor aumento en la dureza, a pesar que las últimas 3 muestras presenten un desplazamiento a la derecha se encuentran dentro de los valores de distribución de la muestra con 100 % de material reciclado, así mismo, se puede visualizar el estrechamiento de los valores por lo que tienden a ser más cercanos al promedio de la muestra 1 y por ende presentar datos de dureza con mayor frecuencia de valor hacia el promedio, mostrando aumentos con menor variabilidad, el comportamiento del aumento en la dureza se ha evidenciado pero no se ha caracterizado en componentes reciclados [12].

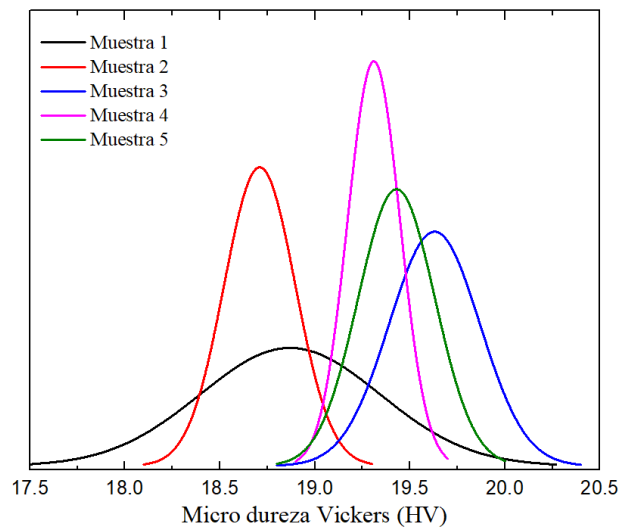


Fig. 6. Resultados de micro dureza Vickers con una carga de 50 gf.

La Fig. 7 de caja y bigotes evidencia la dispersión de los datos de manera gráfica y el rango en que están distribuidos el porcentaje de los datos, para el caso de la caja (los cuadros de colores) se detecta entre que limites se encuentra el 50 % de los datos obtenidos y cada bigote (las líneas verticales que están arriba o debajo de cada caja de color) el 25% de los datos, además de la media de cada muestra marcado con una “x” y con su respectivo valor. Se evidencia que se generan grupos a simple vista, es decir, la muestra 1 y 2 que son las que tienen más porcentaje de material virgen se localizan cercanos a las durezas de 18 HV, además de poder observar que la muestra 1 es la que tiene más dispersión en sus datos desde los 18.3 a 19.8 HV, esta dispersión en los datos puede generar inestabilidad en el proceso de inyección por colada en frío. A diferencia de las muestras 3, 4 y 5 las cuales se observa que mantienen dispersión de datos discretas y estables, además sus valores Vickers se localizan en 19 HV en promedio, siendo más resistentes a la penetración a diferencia de la muestra 1 y 2.

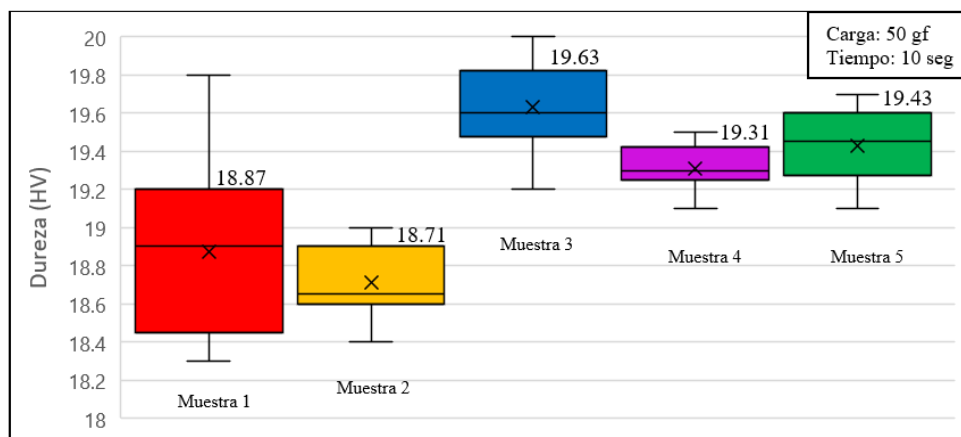


Fig. 7. Resultados de micro dureza Vickers representado en diagrama de caja y bigotes.

En la Fig. 8 se comprueba la normalidad de los datos de las 5 muestras ensayadas se obtienen valores satisfactorios al presentan valores de $P > 0.05$ mismos que confirman que el 95 % de los datos presentan un comportamiento normal y posterior aplicación del método ANOVA., asimismo se observa que de las 5 muestras la gráfica d) es la que mayor nivel de significancia tiene con respecto a las demás con un valor de 0.058, contraste a la gráfica c) que es la de menor nivel de significancia con un valor de 0.873 de manera que cuanto menor sea el valor de p más fiable es el resultado, siendo así la muestra 4 con más fiabilidad en la investigación [15]. Otro análisis que podemos destacar es que la desviación estándar de la gráfica a) manifiesta una dispersión mucha más alta que las demás con un valor de 0.4692 a diferencia de la gráfica d) con un valor de 0.1370 siendo la mezcla más estable con base a la desviación estándar.

7

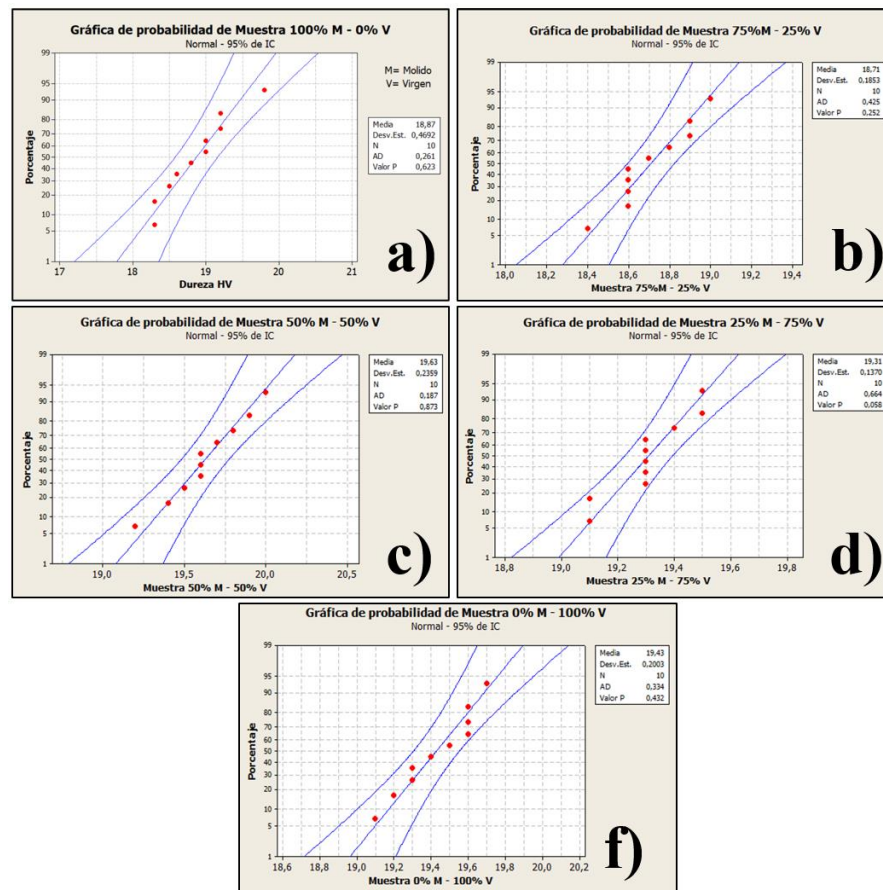


Fig. 8. Gráficas de normalidad de la muestra: a) 1, b) 2, c) 3, d) 4 y f) 5.

TABLA 1. ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5.984	4	1.496	20.27	1.32407E-09	2.578739184
Dentro de los grupos	3.321	45	0.0738			
Total	9.305	49				

En la Tabla 1 se observa el resumen del análisis de varianza al obtener el valor crítico para $F = 2.57$, este valor es importante porque delimita el área de región de aceptación para nuestra hipótesis nula la cual describe que todas las medias poblacionales no tienen diferencia significativa y que nuestra hipótesis alterna describe que si existe diferencia significativa entre las medias poblacionales. Al comparar el valor obtenido de $F = 20.27$ contra el valor crítico se puede notar que el valor obtenido supera el valor crítico para F y esto confirma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna comprobando que si existen diferencias significativas entre las medias [13].

8

TABLA 2. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE MUESTRAS POBLACIONALES.

Diferencia poblacional	Diferencia entre muestras	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_1 - \mu_2$	18.87- 18.71	0.16	Sin diferencia
$\mu_1 - \mu_3$	18.87- 19.63	0.76	Con diferencia
$\mu_1 - \mu_4$	18.87- 19.31	0.44	Con diferencia
$\mu_1 - \mu_5$	18.87- 19.43	0.56	Con diferencia
$\mu_2 - \mu_3$	18.71- 19.63	0.92	Con diferencia
$\mu_2 - \mu_4$	18.71- 19.31	0.60	Con diferencia
$\mu_2 - \mu_5$	18.71- 19.43	0.72	Con diferencia
$\mu_3 - \mu_4$	19.63- 19.31	0.32	Sin diferencia
$\mu_3 - \mu_5$	19.63- 19.43	0.20	Sin diferencia
$\mu_4 - \mu_5$	19.31- 19.43	0.12	Sin diferencia

* μ_1 corresponde a la muestra 1, μ_2 corresponde a la muestra 2, μ_3 corresponde a la muestra 3, μ_4 corresponde a la muestra 4, μ_5 corresponde a la muestra 5

En la Tabla 2 mediante el método Tukey [14] se presentan las diferencias significativas que existen entre las medias de las muestras analizadas teniendo como punto de referencia el valor de T_α de 0.35. Aquellas diferencias que son superiores a T_α confirman que si hay diferencia significativa entre las muestras y aquellas que sean inferior a T_α confirman que no hay diferencia significativa, obteniendo como resultado que el 60% de las diferencias poblacionales si tienen diferencia y que el 40% no hay diferencia. Con lo anterior mencionado se confirma que la muestra 1 y 2 no tienen diferencias entre ellas, pero comparada contra la muestra 3, 4 y 5 si existe diferencia, por otra parte, se observa que no existe diferencia entre la muestra 3, 4 y 5.

En la Fig. 9 se observa el resultado después de comparar las medias poblacionales, se puede detectar la conformación de 2 grupos, uno de ellos está caracterizado por la muestra 1 y 2 las cuales no tienen diferencias significativas de durezas entre ellos y el otro grupo conformado por la muestra 3, 4 y 5 los cuales no tienen diferencia significativa entre ellos pero que al evaluar la comparación entre el primer grupo y el segundo grupo si tienen diferencia entre ellos.

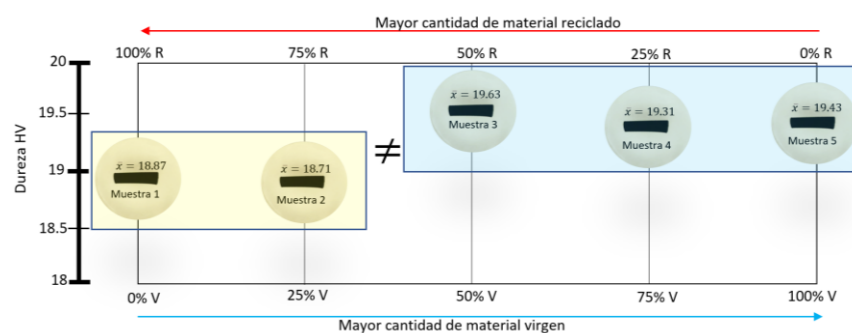


Fig. 9. Agrupación de muestras poblacionales con diferencias significativas.

IV. CONCLUSIONES

Durante el comienzo de la investigación se planteó la hipótesis de que no existe diferencia en utilizar una mezcla de material con el 75 % reciclado- 25 % virgen contra el 50% reciclado -50% virgen, pues lo que se busca en esta investigación es poder utilizar la mayor cantidad de material reciclado. Sin embargo, con base a los resultados obtenidos en la tabla 1 se rechaza esta hipótesis debido a que si existe diferencia significativa entre las medias de las muestras y en la tabla 2 con el método Tukey se confirma en específico que la muestra 2 con el 75% de material reciclado comparado contra la muestra 3 con el 50% de material reciclado es la que tiene más diferencia entre sus medias poblacionales.

Utilizar mezclas con 50% de material reciclado reflejan micro durezas superiores a 19HV, siendo así una opción viable para la industria manufacturera e incorporar a más organizaciones a contribuir a disminuir la cantidad de residuos al medio ambiente y así ser empresas socialmente responsables. Por el contrario, utilizar mezclas superiores al 50% de material reciclado reflejaran durezas de 19HV o inferiores. Dicho lo anterior se concluye que la muestra 3 es la mejor opción a utilizar derivado de las pruebas de normalidad en los datos, la segunda con menor desviación estándar y por último la que mayor cantidad de material reciclado utiliza y que no tiene diferencia significativa contra el 100% de material virgen la cual es la ideal.

Si se utiliza el 100% de material reciclado las fluctuaciones de durezas que van desde los 18HV hasta cercanas a los 20HV pueden generar inestabilidad en el proceso de inyección colada fría siendo así descartado por el momento por su comportamiento mesocúrtico con tendencia a mayor amplitud en los datos, esto se demuestra en la Fig. 6, además en la Fig. 8 a) la desviación estándar de esta muestra fue la más alta manifestando una dispersión más alta comparada contra las demás muestras. Adicionalmente las ramas que se generan durante el proceso de moldeo se trituran con el objetivo de tener partículas similares al tamaño de los pellets los cuales oscilan entre los 2 y 5 mm para volver a ser fundidos, sin embargo, no se puede utilizar el 100 % de material reciclado dado que las partes más pequeñas y polvos finos se carbonizan y se degradan en el cañón generando inestabilidad en las condiciones de proceso de inyección colada fría además de la variación en la dureza del poliestireno cristal.

Es necesario resaltar que al momento de analizar las huellas en las muestras se buscó apreciar si había algún tipo de fisura o fallas provenientes de la carga aplicada durante su ensayo, pero desafortunadamente no se pudo apreciar nada, se esperaba que las muestras con mayor concentración de material reciclado presentaran fallas, pero no fue así, aunque a trabajos futuros se podrían realizar ensayos de macro dureza y poder visualizar sus fallas en las huellas y analizarlas.

REFERENCIAS

- [1] Resirene SA de CV, “Hoja Técnica HF 555, Poliestireno cristal.” resirene.com.mx. 2024. Available: <https://www.resirene.com.mx/wp-content/uploads/2024/06/HT-HF-555-v8.8.pdf>
- [2] J. Torres, T. de Alba, “Día Mundial del Reciclaje: la industria tiene un plan. ECOCE”, *Boletín de prensa*, May 2024, <https://www.ecoce.mx/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/33>
- [3] Plastics Technology Mexico, “¿Qué es el poliestireno (PS)? tipos y aplicaciones desglosadas.” www.pt-mexico.com. 2024. Available: <https://www.pt-mexico.com/articulos/que-es-el-poliestireno-ps-tipos-y-aplicaciones>
- [4] Forbes Staff, “Consumo de resinas en México supera 6 millones de toneladas en 2020: Anipac.” [forbes.com.mx](https://www.forbes.com.mx). 2021. Available: <https://www.forbes.com.mx/consumo-de-resinas-en-mexico-supera-6-millones-de-toneladas-en-2020-anipac/>
- [5] J. G. Hachi Quintana, J. D. Rodríguez Mejía, “Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET),” Tesis Ingeniería, Depto. Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica SALESIANO Ecuador, Ciudad de Guayaquil, Ecuador, 2010. Available <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2450>
- [6] ZwickRoell SA de CV. “ASTM D638, propiedades de tracción plástico.” www.zwickroell.com/es/. Accessed: Mar. 2024. Available: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/propiedades-de-traccion-astm-d638/>

- [7] Eurolab, Laboratoty services. “Método de prueba estándar ASTM E384 para la dureza de materiales por microindentación.” laboratuar.com/es. Accessed: Jun. 2nd 2024. Available: <https://www.laboratuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-e384-malzemelerin-mikroindentasyon-sertligi-icin-standart-test-yontemi/>
- [8] Infinitia Industrial Consulting. “Ensayo de dureza Vickers: ¿En qué consiste?.” infinitiaresearch.com. Accessed: Feb. 3rd 2022. Available: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayo-dureza-vickers/>
- [9] *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*, ASTM-E 384-05a, United States. 2005.
- [10] Struers. “Ensayo de dureza Vickers (HV).” struers.com. Accessed: Jan. 3rd 2022. Available: <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing/Vickers/>
- [11] Phemtycs. “Ensayo de dureza Vickers.” phemtycs.com. Accessed: Jul. 11th 2002. Available: <https://materiales.phemtycs.com/ensayo-de-dureza-vickers/>
- [12] N. J. Jubier, K. R. Al-Jorani, A. A. Ali, S. A. Al-Bayaty, R. A. H. Al-Uqaily, “Thermal degradation assessment, impact strength, and hardness of combination epoxy and polystyrene powder composite,” Kuwait Journal of Science, vol. 51, no. 4, Oct. 2024, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100271>
- [13] C. E. Ibarra, Perú. *Cómo realizar el Análisis de Varianza ANOVA*. El tío estadístico. (Oct. 6th 2021). Available: <https://www.youtube.com/watch?v=k1b0CTFrEY&t=1105s>
- [14] Studylib. “Tabla 8: Cuantiles de la distribución de Tukey q(n, m) 1.” studylib.es. Accessed: Oct. 17th 2005. Available: <https://studylib.es/doc/6339557/tabla-8--cuantiles-de-la-distribuci%C3%B3n-de-tukey-q-n--m--1>
- [15] Academia Balderix. “Valor p.” probabilidadyestadistica.net. Accessed: Jan. 12nd 2023. Available: <https://www.probabilidadyestadistica.net/valor-p/>