

EVALUACIÓN DE UN PROCESO PRODUCTIVO PARA LA ADOPCIÓN DE LA LOGÍSTICA INVERSA

Karla Cristina Estrada Jerez¹, Soledad Vianey Torres Argüelles¹, y Abelardo Irineo Flores Vela³

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

²Instituto Politécnico Nacional

Correo: karlaestradajerez@gmail.com

Resumen: El artículo que a continuación se presenta plantea un análisis y evaluación de un proceso productivo de una empresa del giro del moldeo de plásticos, la cual tiene la necesidad de incorporar el proceso de logística inversa, por medio del reciclaje de plástico para la elaboración de un nuevo producto. Se realiza una evaluación del proceso de manejo de materiales reciclados considerando ensayo de tracción para establecer la capacidad de carga máxima y elongación del material reciclado y el material virgen, para determinar si cumplen con los requisitos de los productos a fabricar. En esta evaluación también se consideran las mediciones y análisis de consumo energético a los procesos.

labras Clave: Logística Inversa, Prueba de Tracción, Reciclaje polipropileno, Análisis de consumo energético.

1. Introducción

La ecología industrial es un nuevo marco para la gestión ambiental y busca la transformación del sistema industrial con el fin de que sus entradas y salidas coincidan con la capacidad de carga de forma global y local (Erkman, 1997; Lowe & Evans, 1995). Dentro de este concepto y como parte del proceso productivo están incluidos los procesos de producción limpia y logística inversa el cual es el término comúnmente usado para referirse al rol de la logística en el reciclaje, disposición de desperdicios (Kinobe, Gebresenbet, Niwagaba, & Vinnerås, 2015) y el manejo de materiales peligrosos (Kilic, Cebeci, & Ayhan, 2015); y estos a su vez requieren la aplicación de conceptos tales como Simbiosis Industrial y Sinergia de Subproductos (Manahan, 2001). Cuyo principio radica en que el flujo de residuos de una industria se incorpore a otra convirtiéndose en materia prima para la segunda, con lo que se busca cerrar el ciclo (Ayres & Ayres, 2002). Lo que implica que una sociedad sostenible requiere de tecnologías y procesos más eficientes, las cuales

deben ser promovidos y proporcionados por la industria, de manera que también se ofrezcan productos que protejan los recursos del planeta (Westkamper, Alting, & Arndt, 2000).

En México las necesidades de reciclaje se basan en dos puntos, primero la reducción de la extracción de recursos naturales para la fabricación y minimizar la cantidad de desechos al ambiente, según (ANIPAC, 2015), tan sólo en el 2014 la producción de plástico alcanzó casi cinco millones de toneladas de plástico, mientras que el consumo de plásticos en el país alcanzó casi los siete millones de toneladas. Esto indica la gran demanda, pero también el exceso de plástico desechado y que genera una alta contaminación. Esto muestra la necesidad de la generación de una metodología que permita que las empresas dedicadas al reciclaje del plástico aumenten su capacidad, de tal manera que sea posible regresar al consumo el material que se considera como desecho a través de la adopción de logística inversa.

1.1. Situación Actual del caso de estudio

La empresa cuenta con 140 empleados, fabrica partes plásticas, atiende los mercados de publicidad, promoción, automotriz, mobiliario escolar, manejo de materiales o requerimientos de ingeniería a medida y conforme a las necesidades del cliente, ofreciendo un servicio global desde la fabricación de sus moldes de producción, diseño de productos para el cliente.

Actualmente la empresa tiene la necesidad de adoptar un sistema de logística inversa, con el fin de suministrar material de polipropileno para reciclar y cumplir con la demanda de un nuevo producto elaborado con polipropileno reciclado, el material reciclado por la empresa puede ser molido que es recuperado por medio del triturado de las piezas en un molino y el material peletizado el cual se obtiene mediante tratamientos térmicos transformando el plástico nuevamente en pellets (Briassoulis, Hiskakis, & Babou, 2013) por medio de una peletizadora.

Antes de realizar una propuesta de adopción de la logística inversa para la empresa es necesario conocer las características del producto reciclado, para esto fue necesario evaluar el proceso que se lleva a cabo en la empresa en estudio; el cual consiste de un ensayo de tracción basándose en diferentes mezclas de Polipropileno: virgen, molido y peletizado, así como un análisis de

consumo energético del procesos de reciclaje y una evaluación de los procesos internos de reciclaje.

2.

Métod

o

2.1. Ensayo de tracción o tensión

Consiste en deformar una probeta haltera o multipropósito, a lo largo de su eje mayor, a velocidad constante y aplicando fuerza hasta su rotura. Las probetas pueden ser moldeadas por inyección, o mecanizadas a partir de placas moldeadas por compresión. Se les da un acondicionamiento normalizado. Su espesor es alrededor de 3 ó 4 mm, se trata de un ensayo muy común, probablemente el más común de los que cabe realizar a un material que se pretenda usar con fines resistentes (ASM International, 2004). Para esta investigación nos enfocaremos en el análisis de los resultados de la tensión a la rotura o carga máxima y elongación a la rotura.

- **Tensión a la rotura o carga máxima:** Es la máxima tensión que un material puede soportar al ser traccionado antes de que se produzca el “necking”, que es cuando la sección transversal del espécimen o muestra se comienza a contraer de manera significativa. La tensión de rotura se obtiene por lo general realizando un ensayo de tracción y registrando la tensión en función de la deformación (o alargamiento); el punto más elevado de la curva tensión-deformación es la tensión de rotura o carga máxima (ASM International, 2004) . La tensión de rotura es definida como una tensión que se mide en unidades de fuerza por unidad de área, como megapascales Mpa (Degarmo, Kohser, & Klamecki, 2003).
- **Elongación a la rotura:** Aumento de longitud producido en la probeta de ensayo sometida a una carga de tracción. Se expresa en unidades de longitud por lo general milímetros o pulgadas, durante la prueba de tracción se produce el alargamiento a la rotura el cual es el alargamiento en el momento de la rotura de la muestra de ensayo (ASM International, 2004).

2.2. Procedimiento de moldeo de probetas multipropósito

Para llevar a cabo el experimento se utilizó el polipropileno cuyo nombre comercial es ADX1003 y es utilizado por la empresa para la elaboración de partes plásticas automotrices. Se definieron las mezclas de polipropileno virgen, molido y peletizado tanto al 100% como en diferentes porcentajes como se muestra en la Tabla 2.1.

La nomenclatura de la Tabla 2.1. está dada por, el número de la Izquierda corresponde a la mezcla y el de la derecha al número de prueba; por ejemplo, nomenclatura 82 corresponde a la mezcla 70% Virgen, 30% molido prueba número 2.

Tabla 4.1. Nomenclatura de las mezclas de polipropileno utilizadas en el experimento.

Numero	Nombre de la mezcla	Nomenclatura
Mezcla 1	100% virgen	11.12.14
Mezcla 2	100% Peletizado A (día 1)	21.23.24
Mezcla 3	100% Peletizado B (día 2)	31.33.34
Mezcla 4	100% Molido	41.42.43.
Mezcla 5	70% Peletizado A, virgen 30%	51.52.53.
Mezcla 6	30% Peletizado A, virgen 70%	62.63.64
Mezcla 7	70% Virgen, 30% peletizado B	71.73.74
Mezcla 8	70% Virgen, 30% molido	81.83.84
Mezcla 9	50% Virgen, 50% peletizado A	91.92.94

Fuente: Elaboración propia.

En base a los diferentes tipos de mezclas, se moldearon las probetas para el experimento, véase la Figura 2.1. y sus dimensiones en la Tabla 2.2. con base a la norma ASTM D638, esta norma fue diseñada para determinar las propiedades de tensión de materiales plásticos estableciendo la geometría de las probetas y las velocidades de ensayo de tensión (ASTM, 2013).



Figura 2.1. Probeta moldeada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.2. Características de la prueba de tracción

Forma:	Plana		
Muestras	27		
Medidas	Espesor	Anchura	Longitud
	4 mm	10 mm	75 mm
Velocidad	50 mm/min		
Software	Trapezium Autograph		
Maquina	Maquina Universal para pruebas mecánicas		

3. Resultados

3.1. Capacidad de carga máxima y elongación

La evaluación para determinar si la empresa puede utilizar material reciclado se basó en dos estudios; los cuales se realizaron a cada una de las mezclas y fueron el de capacidad de carga y de elongación. Los resultados obtenidos respecto de la capacidad de carga se presentan en las Figuras 3.1 a la 3.9. Para un mejor análisis se graficaron por tipo de mezcla y como resultado se obtuvieron comportamientos de capacidad de carga máxima, que como se puede observar son similares en cada mezcla.

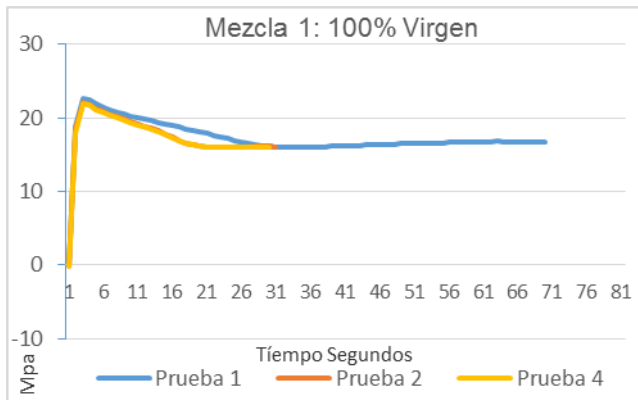


Figura 3.1. Capacidad de carga del material Virgen.

Fuente: Elaboración propia.

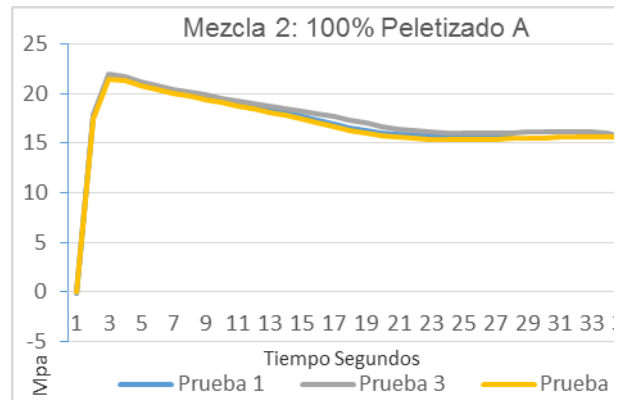


Figura 3.2. Capacidad de carga del material 100 % peletizado, prueba 1. Fuente: Elaboración propia.

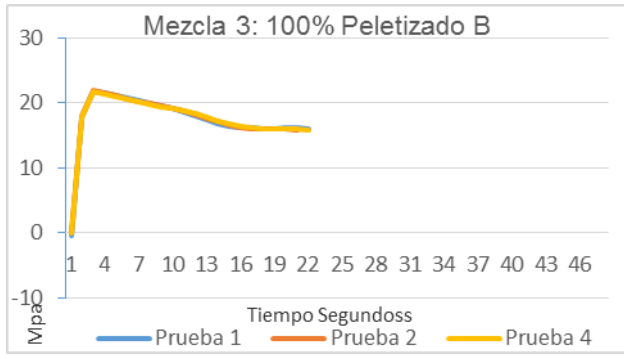


Figura 3.3. Capacidad de carga del material 100 % peletizado, prueba dos. Fuente: Elaboración propia.

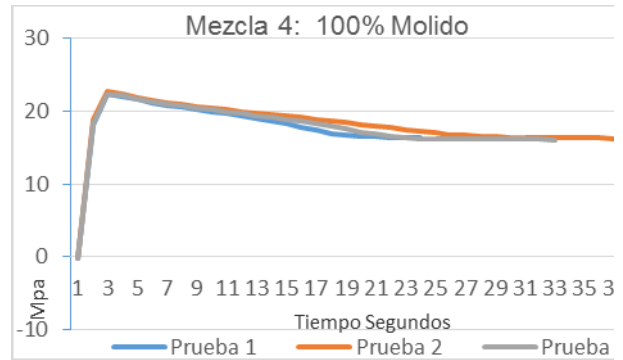


Figura 3.4. Capacidad de carga del material 100 % peletizado, prueba dos. Fuente: Elaboración propia.

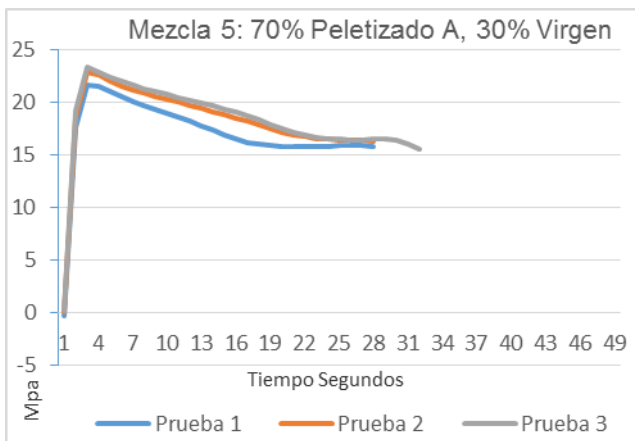


Figura 3.5. Capacidad de carga del material 70 % peletizado prueba 1 y 30% virgen.

Fuente: Elaboración propia.

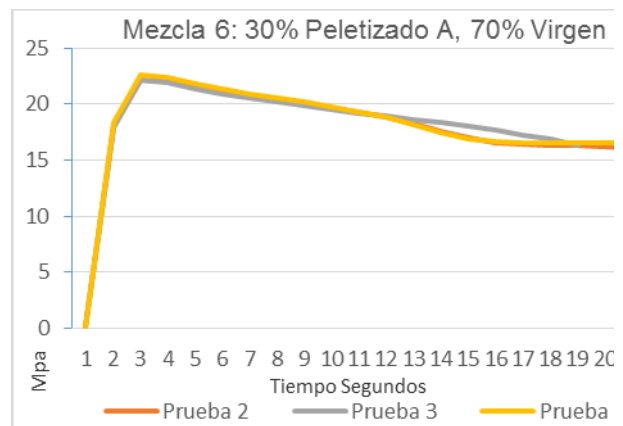


Figura 3.6. Capacidad de carga del material 30 % peletizado y 70% virgen, prueba 1.

Fuente: Elaboración propia.

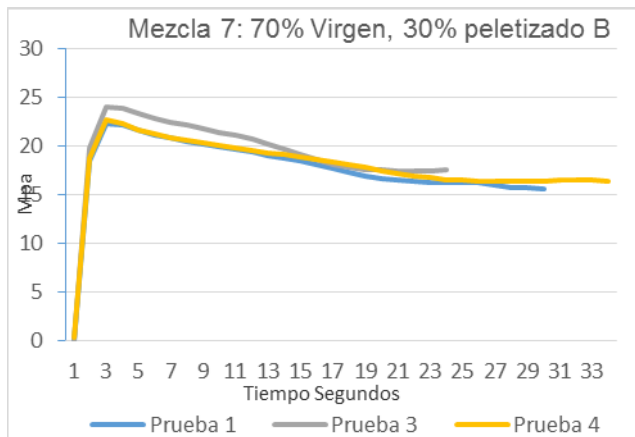


Figura 3.7. Capacidad de carga del material 30 % peletizado y 70% virgen, prueba 2.

Fuente: Elaboración propia.

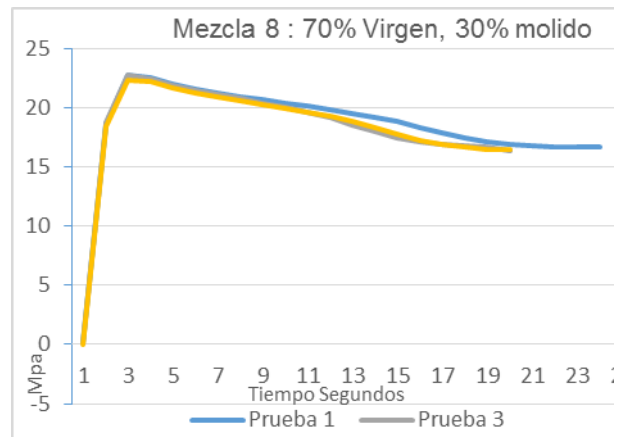


Figura 3.8. Capacidad de carga del material 70% virgen y 30% molido

Fuente: Elaboración propia.

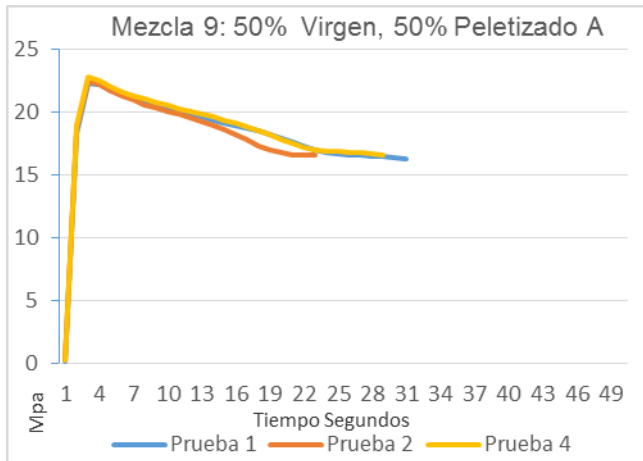


Figura 3.9. Capacidad de carga del material 50 % peletizado y 50% virgen, prueba 2.
Fuente: Elaboración propia.

La grafica en la Figura 3.10 muestra la carga máxima por probeta en la cual se consideraron los valores obtenidos para cada mezcla y se puede observar que los valores de la capacidad de carga oscilan entre 21.5 y 24 MPa. Estos resultados cumplen con los requerimientos para el producto que se pretende fabricar, considerando que la capacidad máxima del producto virgen según datos del proveedor son de 25 MPa, se considera que no existe mucha variación.

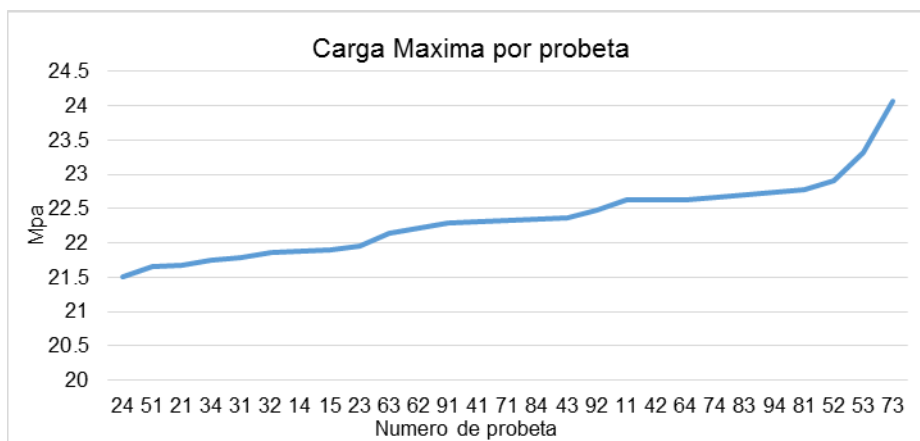


Figura 3.10. Capacidad de carga máxima acumulada por probeta.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3.11. muestra el promedio de carga máxima por mezcla, en donde se observa que la mezcla 2 soporta la menor carga máxima y el promedio de la mezcla 7 reporta la mayor capacidad de carga máxima

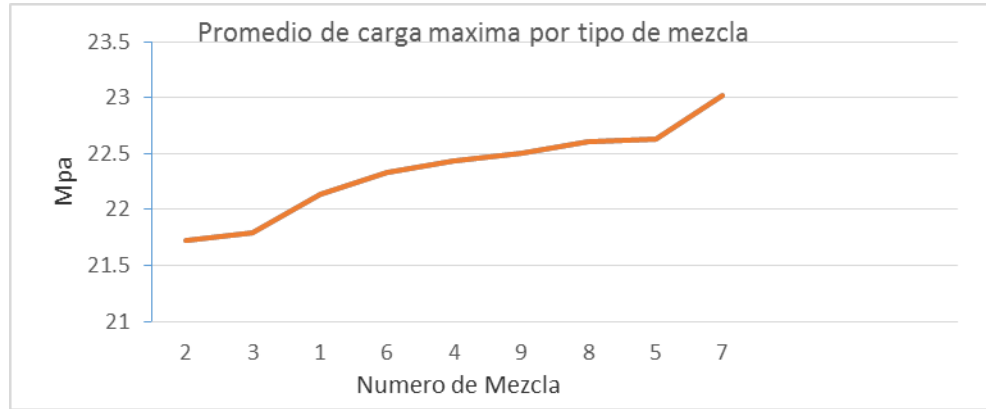


Figura 3.11. Capacidad de carga promedio por mezcla
Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas de elongación o estiramiento de la probeta se representan en la Figura 3.12. Los resultados obtenidos muestran un rango por mezcla entre 62 y 120 milímetros, pero el alza se presenta en particular en la probeta 1 de la mezcla 100% virgen, un material con menos elongación es quebradizo, sin embargo en la gráfica se observa como las demás muestras se encuentran en un rango de 62 a 105 mm.

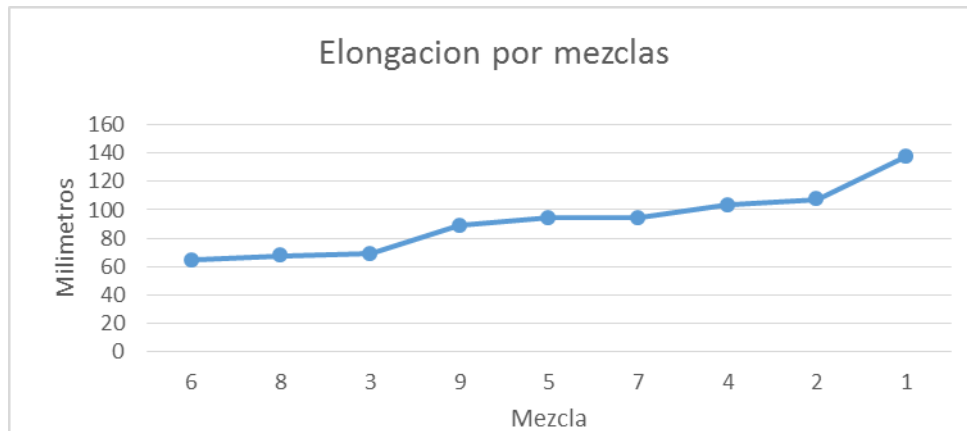


Figura 3.12. Elongación de las probetas
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en el programa SPSS Statistical Package for the Social Sciences (Mohd, 1981). Se analizaron los resultados de la capacidad de carga y la elongación realizando una comparación de medias con la herramienta *T-test* con el fin de probar las hipótesis planteadas respecto si existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los diferentes tipos de mezcla reciclados comparados con el material virgen.

La prueba se realizó con un nivel de confianza del 95% y un valor de α definido igual .05, donde estadísticamente se acepta la hipótesis nula si el *p value* es mayor que el valor de α . Las hipótesis se plantearon como sigue:

H0: Las medias de la capacidad de carga de las mezclas de material reciclado son iguales a la media del material virgen.

H1: Las medias de la capacidad de carga de las mezclas de material reciclado son diferentes a la media del material virgen.

Tabla 3.1. Pruebas pareadas de la capacidad de carga de las mezclas comparadas con el material virgen

Paired Samples Test									
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Virg_100 - PEI_100_1	0.41554	0.51089	0.29496	-0.85359	1.68467	1.409	2	0.294
Pair 2	Virg_100 - Pel_100_2	0.33697	0.44318	0.25587	-0.76396	1.4379	1.317	2	0.319
Pair 3	Virg_100 - Mol_100	-0.30374	0.54532	0.31484	-1.65839	1.05091	-0.965	2	0.436
Pair 4	Virg_100 - Pel_70_Vir_30_1	-0.4978	1.27604	0.73672	-3.66766	2.67206	-0.676	2	0.569
Pair 5	Virg_100 - Pel_30_Vir_70_1	-0.19775	0.57074	0.32952	-1.61556	1.22005	-0.6	2	0.609
Pair 6	Virg_100 - Virg_70_Pel_30_2	-0.88171	1.24322	0.71778	-3.97005	2.20663	-1.228	2	0.344
Pair 7	Virg_100 - Virg_70_Mol_30	-0.47882	0.33616	0.19408	-1.31388	0.35624	-2.467	2	0.132
Pair 8	Virg_100 - Virg_50_Pel_50_1	-0.37019	0.61681	0.35612	-1.90244	1.16206	-1.04	2	0.408

En la Tabla 3.1. se muestra los resultados de las pruebas pareadas, como se puede observar todos los valores de p calculados son mayores que el α definido, lo que nos muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las mezclas con material reciclado y el material virgen, por lo que no se rechaza la hipótesis nula.

En el caso del ensayo de elongación, también se analizaron los resultados con T-test, de igual forma La prueba se realizó con un nivel de confianza del 95% y un valor de α definido igual .05, donde estadísticamente se acepta la hipótesis nula si el p value es mayor que el valor de α . Las hipótesis se plantearon como sigue:

H0: Las medias de los ensayos de elongación de las mezclas de material reciclado son iguales a la media del material virgen.

H1: Las medias de los ensayos de elongación de las mezclas de material reciclado son diferentes a la media del material virgen.

Tabla 3.2 Pruebas pareadas de la elongación de las mezclas de material reciclado comparadas con el material virgen.

Paired Samples Test									
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
						Lower	Upper		
Pair 1	Vir_100 - Pel_100_1	85.56233	97.83107	56.48279	-157.46351	328.58818	1.515	2	0.269
Pair 2	Vir_100 - Pel_100_2	124.47967	93.39628	53.92237	-107.52956	356.4889	2.308	2	0.147
Pair 3	Vir_100 - Mol_100	89.98933	92.38544	53.33876	-139.50883	319.48749	1.687	2	0.234
Pair 4	Vir_100 - Pel_70_Vir_30	98.87967	99.52068	57.45829	-148.34341	346.10274	1.721	2	0.227
Pair 5	Vir_100 - Pel_30_Vir_70_1	128.894	94.73685	54.69635	-106.44538	364.23338	2.357	2	0.143
Pair 6	Vir_100 - Pel_30_Vir_70_2	98.83767	107.67074	62.16373	-168.63128	366.30661	1.59	2	0.253
Pair 7	Vir_100 - Vir_70_Mol_30	125.52467	90.1686	52.05887	-98.46656	349.5159	2.411	2	0.137
Pair 8	Vir_100 - Vir_50_Pel_50	104.398	99.6588	57.53804	-143.16819	351.96419	1.814	2	0.211

En la Tabla 3.2 se reportan los resultados de las pruebas pareadas. Como se puede observar todos los valores de p calculados son mayores que el α definido, lo que nos muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de la elongación de las mezclas con material reciclado y la elongación medida en las pruebas con material virgen, por lo que no se rechaza la hipótesis nula.

Tanto en la capacidad de carga como en la elongación las muestras no reportaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las muestras de material virgen, lo que significa que los materiales reciclados cumplen con estas dos características que son básicas para el uso que se les dará, por lo tanto, es recomendable usar estos materiales, en las distintas mezclas.

3.3. Análisis de Consumo energético

Asimismo, para medir el consumo energético y evaluar el efecto que este tiene en todo el proceso de producción utilizando materiales reciclados se realizaron mediciones eléctricas continuas en los procesos de inyección de plástico, molienda y peletizado; para lo cual se utilizó un equipo analizador de redes trifásico, con el objetivo de determinar el consumo energético en los procesos, esto debido a que es importante saber cuánta energía se consume para reincorporar los residuos nuevamente a los procesos.

El consumo medido por el proceso de inyección de plástico se reporta en la Figura 3.13. Esta gráfica nos muestra la carga total máxima en 1 día de medición la cual correspondió a 6.91 kW con un consumo de energía de 3.3 kWh por día.

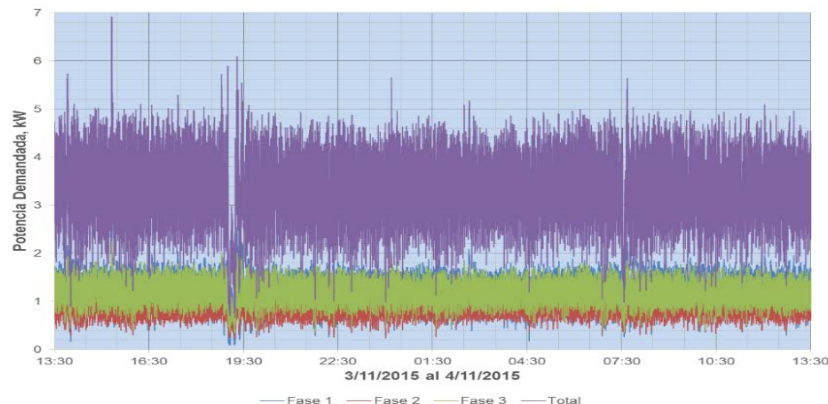


Figura 3.13. Medición continua de la potencia demandada en el proceso de inyección de plástico.
Fuente: Elaboración propia.

También, el consumo medido al proceso de peletizado se reporta en la Figura 3.14. Esta gráfica nos muestra la carga total máxima en 1 día de medición de 13 kW y se tiene un consumo de energía de 5.6 kWh por día.

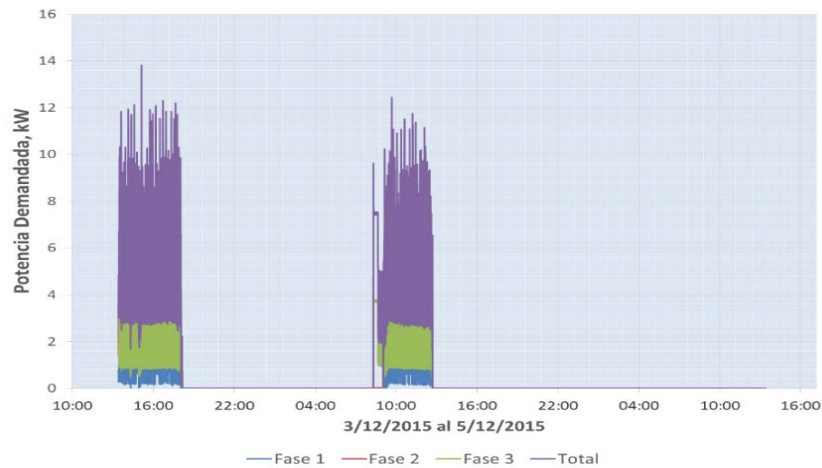


Figura 3.14. Medición continua de la potencia demandada en el proceso de peletizado
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el proceso de molienda se muestra en la Figura 3.15 y reporta la carga total máxima en un periodo de molienda que es de 36 kW al arranque del motor, posteriormente la carga se estabiliza consumiendo así 7 kWh durante el proceso de molienda.

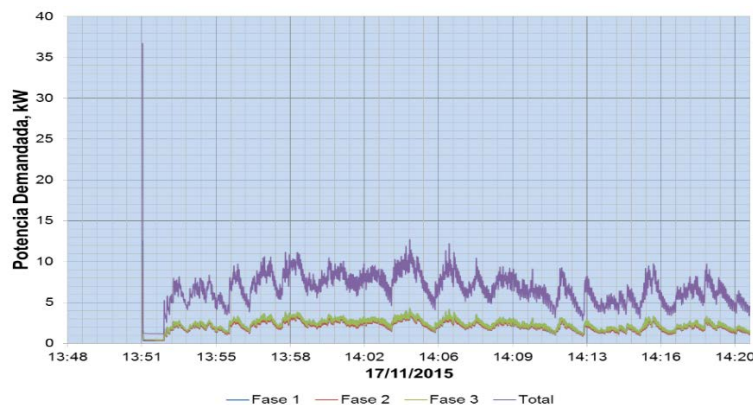


Figura 3.15. Medición continua de la potencia demandada en el proceso de molienda
Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. Resultados de las mediciones eléctricas

De acuerdo con los resultados el proceso de inyección de plástico genera distorsión armónica en porcentaje promedio de 25%, lo que puede generar un daño a equipo electrónico, por lo que sería conveniente instalar un filtro de armónicas.

En el proceso de molienda se genera un pico de corriente de niveles muy altos, provocando una caída de tensión lo cual puede provocar daños a equipos sensibles a las variaciones de tensión, por lo que es conveniente utilizar un arrancador en el motor del molino con la finalidad de minimizar los picos de corriente y disminuyendo así la demanda máxima facturable.

La peletizadora en una maquina armada por la misma empresa y tiene muchas fallas de operación, encontrándose en etapa de mejora, ya que no es eficiente al producir solo 7 kilogramos por hora de material reciclado.

3.4. Análisis del proceso actual de reciclado de la empresa

Para poder realizar una propuesta de logística inversa adecuada para la empresa, se realizó un análisis enfocándonos principalmente en el área de generación y reciclaje de los residuos generados por la empresa. La Figura 3.17 muestra el diagrama y análisis global de los procesos de reciclaje internos así como las deficiencias detectadas.

El nuevo producto si es 100% reciclado va a requerir 8 kg de material reciclado por pieza y se estima que la demanda mensual será de 2500 piezas, esto da una demanda mensual de 20 toneladas de polipropileno reciclado. Lo que implica una cantidad importante de material virgen que no se toma de las fuentes naturales disminuyendo la explotación de recursos.

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE SUBPRODUCTOS

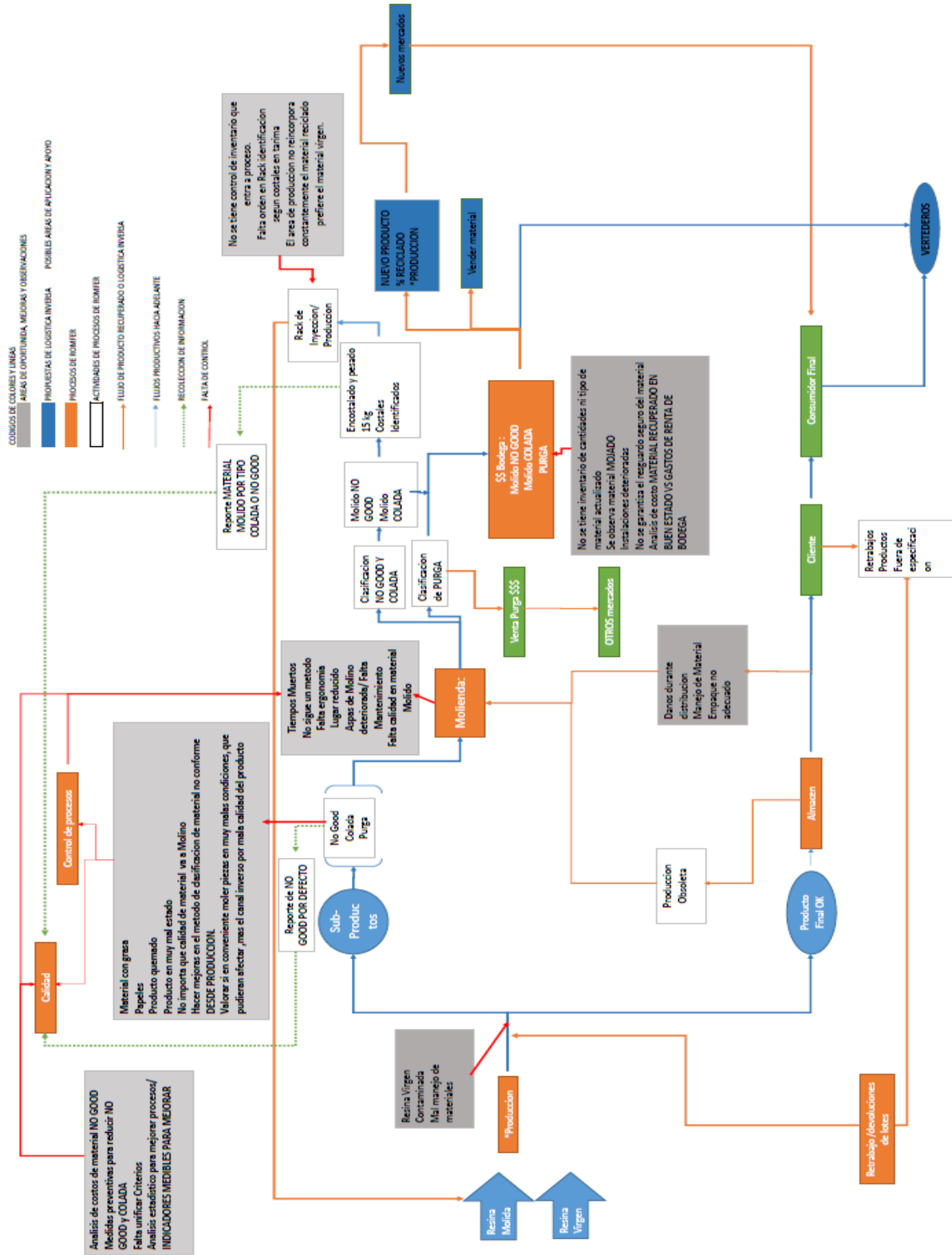


Figura 5.17. Análisis de la situación actual del proceso de reciclaje y oportunidades de mejora
Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

Como conclusión decimos que, el proceso actual de reciclaje no tiene la capacidad de reciclar material de otras industrias, debido a que durante la evaluación se observaron fallas en el proceso, además de que la maquina peletizadora necesita mejoras para ser eficiente y productiva, la empresa debe mejorar sus procesos internos de reciclaje y en medida que sean más eficientes adoptar la logística inversa totalmente, y además se debe considerar una inversión en infraestructura, sin embargo la empresa si puede iniciar el proceso de logística inversa por medio de un reciclador.

Para una implementación exitosa, la empresa tendrá que invertir recursos en el área de reciclaje y peletizado, actualmente esta área cuenta con muchas deficiencias operativas, área reducida y falta de mantenimiento al equipo, si la empresa pretende moler y peletizar el producto en sus instalaciones talvez no sea la mejor idea a un corto plazo, sin embargo a largo plazo es muy probable que la empresa desarrolle la tecnología necesaria para situar un área externa donde se pueda convertir en un reciclador que elabore sus propios suministros.

Se recomienda en un principio adoptar la logística inversa por medio de recicladores formales de materia post-industrial de calidad como residuos plásticos automotrices, ya que la industria automotriz maneja niveles más altos de calidad y control del producto que la industria del plástico en general.

El análisis estadístico dio como resultado que no existen diferencias significativas en las propiedades mecánicas del material virgen y el material reciclado, en cuestión de capacidad de carga máxima y elongación, por lo que se concluye que podemos utilizar las diferentes mezclas para de esta manera aumentar el consumo de material reciclado y cumplir con la producción de un producto 100% reciclado, sin embargo se debe poner atención en la fase de validación o primeras corridas del nuevo producto reciclado para asegurar la calidad al cliente, sin poner en riesgo la reputación y confiabilidad de la empresa, garantizando un producto reciclado de calidad se recomienda hacer pruebas de impacto sobre el producto con diferentes mezclas de material.

Consideramos que la empresa no solo tendrá la capacidad de reciclar polipropileno, sino que con su reputación, inversión tecnológica y experiencia en el área de moldeo de plásticos la

organización está en posición de crear nuevos productos con otros tipos de materiales reciclados y de esta manera colocarse como un en mercado como una empresa sustentable.

Finalmente, podemos decir que la empresa con la adopción de la logística inversa, se situara como una compañía que utiliza la simbiosis industrial dentro de sus estrategias corporativas, promoviendo la ecología industrial, por medio del reciclaje de polipropileno, situándose como una empresas sustentable, siendo ejemplo y guía para que otras empresas hagan cambios en sus procesos, de manera factible y con una metodología establecida de tal manera se logre la implementación con éxito y prefieran utilizar resinas recicladas en sus productos y de esta manera minimizar la extracción de materias primas mientras se reincorporas los desechos plásticos a los procesos productivos.

Referencias

- ANIPAC. (2015). Anuario Estadístico ANIPAC 2015. Mexico. Retrieved from <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXncnVwb3RleG5lfGd4OjUzMmVkYjFmODQxYTA1MWY>
- ASM International. (2004). Introduction to Tensile Testing. Tensile testing (pp. 1–13). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- ASTM. (2013). ASTM: D638, Standard test method for tensile properties of plastics. ASTM Standards, 1–16. doi:10.1520/D0638-10.1
- Ayres, R. U., & Ayres, L. (Eds.). (2002). A handbook of industrial ecology. Edward Elgar Publishing.
- Briassoulis, D., Hiskakis, M., & Babou, E. (2013). Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste. Waste Management (New York, N.Y.), 33, 1516–30. doi:10.1016/j.wasman.2013.03.004
- Degarmo, E. P., Kohser, R. a, & Klamecki, B. E. (2003). Materials and Process in Manufacturing. Materials and Process in Manufacturing, 383.
- Erkman, S. (1997). Industrial ecology: An historical view. Journal of Cleaner Production, 5(1), 1–10. doi:10.1016/S0959-6526(97)00003-6
- Kilic, H. S., Cebeci, U., & Ayhan, M. B. (2015). Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey. Resources, Conservation and Recycling, 95, 120–132. doi:10.1016/j.resconrec.2014.12.010
- Kinobe, J. R., Gebresenbet, G., Niwagaba, C. B., & Vinnerås, B. (2015). Reverse logistics system and recycling potential at a landfill: A case study from Kampala City. Waste Management. doi:10.1016/j.wasman.2015.04.012
- Lowe, E., & Evans, L. K. (1995). Industrial ecology and industrial ecosystems. Journal of Cleaner Production, 3(1), 47–53. doi:10.1016/0959-6526(95)00045-G
- Manahan, S. (2001). Fundamentals of environmental chemistry. Polish Journal of Chemistry, 993. Retrieved from http://books.pakchem.net/uploads/1/2/7/7/12772060/fundamentals_of_environmental_chemistry.pdf
- Mohd, S. (1981). Statistical Package for Social Sciences. Nursing Research, 30, 93. doi:10.1097/00006199-198103000-00009
- Westkamper, E., Alting, L., & Arndt, G. (2000). Life Cycle Management and Assessment: Approaches and visions towards sustainable manufacturing. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 49, 501–522. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0034512395&partnerID=40&md5=f1dfcacb6cdd0a1de58593fa64c6402f>