

Disminución en la densidad de la manguera de PVC tipo rural

José Alejandro Alvarez Pérez¹, Alfonso Hickman Guevara²

RESUMEN- Cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1.600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos. El trabajo de investigación será presentado en forma de un estado de arte, con el fin de encontrar una solución al Peso que actualmente tiene la manguera de PVC verde olivo para uso rural, usada principalmente para la succión y descarga de agua, para el riego en la agricultura y en el proceso de manejo de agua a través de las conocidas pipas. La razón de querer disminuir la densidad de la materia prima que actualmente es PVC, es con el fin de poder tener un producto ligero el cual sea más fácil de manipular y que además esto represente un crecimiento en la utilidad del producto sin modificar las características que este producto debe de tener. El objetivo general es Plantear diferentes alternativas viables para reducir la densidad de la manguera de PVC fabricada para uso rural de suministro agua al menos en un 20% de su peso original.

Palabras clave: PVC, manguera de PVC verde olivo para uso rural, densidad de la materia prima

Introducción

La escasez de agua es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano. Hay suficiente agua potable en el planeta para abastecer a los 7.000 millones de personas que lo habitamos, pero ésta está distribuida de forma irregular, se desperdicia, está contaminada y se gestiona de forma insostenible. (PNUD, 2006)

La reducción de la densidad en muchos productos es con el fin de encontrar un menor peso, como pasa en la industria automotriz cada día se buscan autos más eficientes con menor gasto de combustible o usando energías alternas en ambas elecciones se busca un auto más ligero para que este sea más fácil de mover, usando aleaciones o materiales más ligeros para su fabricación. En el área de la industria plástica tenemos muchos casos similares, por ejemplo, el garrafón de agua de 20 litros, en sus inicios el garrafón era fabricado de vidrio y el manejo de este era muy peligroso ya que tenía un peso muy alto, posteriormente se desarrolló el garrafón de PVC, en la actualidad podemos encontrar en el mercado garrafones de distintos polímeros con una reducción en peso, ya sea en PVC modificado o en otros polímeros como es el policarbonato o incluso el PET.

A través de este trabajo se plantearan algunas alternativas o estrategias para disminuir la densidad volumétrica en la manguera de PVC tipo Rural.

Este trabajo fue inspirado por varios usuarios finales que se quejaban del difícil manejo de este producto y sobre todo el poder Producción de Manguera NAM SA DE CV a generar una mejor utilidad y poder darle trabajo a más gente que lo ha perdido debido al poco margen que este producto representa. A continuación, plantearemos propuestas para encontrar la solución de poder encontrar en base a una metodología de trabajo el mejor camino para poder reducir en al menos el 20% la densidad del producto y que este tenga el mismo desempeño y no pierda sus características que realmente no han cambiado a través del tiempo.

Justificación

Como parte de su plan estratégico de crecimiento y desarrollo la empresa PRODUCCIÓN DE MANGUERAS PLÁSTICAS NAM S.A. DE C.V., se ha planteado llevar a cabo mejorar algunos de sus productos a través de la innovación en sus diseños y/o procesos de fabricación, lo que le permitirá posicionarse en el mercado nacional. Por ejemplo, actualmente la empresa ha detectado una gran área de oportunidad en la mejora de la manguera de PVC para uso rural de trasporte y distribución de agua.

¹ El estudiante **José Alejandro Alvarez Pérez** es estudiante de la maestría En Manufactura Avanzada Del CIATEQ Campus Toluca, Estado De México. México alejandro.alvareznam@live.com .

² El M.Sc. **Alfonso Hickman Guevara**, es asesor de la maestría En Manufactura Avanzada Del CIATEQ Campus Toluca, Estado De Mexico. México hickari@gmail.com.

Si bien la empresa había contemplado como primera opción realizar un nuevo producto, un análisis detallado de esta opción permitió visualizar la necesidad de que esta alternativa implicaba una considerable inversión de recursos, así como la necesidad de contar ya con un plan de marketing, el cual, sería costoso además de que requeriría de un plazo considerable para su elaboración.

Por lo anterior, se decidió optar por la opción de optimizar uno de los productos más representativos y que más venta representa para la empresa: la manguera de PVC tipo rural para distribución de agua.

Hipótesis

Es posible reducir la densidad de la manguera Rural de PVC en color verde olivo elaborada en México, que es fabricada a través de una mezcla de PVC Rígido y PVC Flexible en 20% obteniendo un peso específico de 1.16 gr/cm³, aplicando Arreglos ortogonales para experimentos a dos niveles con el propósito de obtener un producto innovador, ligero y con mayor margen de utilidad para la empresa Mangueras Plásticas NAM SA DE CV localidad en Toluca, Estado de Mexico

Extrusión de Tubo o Perfil.

Este proceso consta de una extrusora con un diseño de barril y husillo adecuado al tipo de material que se quiera procesar. En la producción de tubo y perfil, el plástico de uso más común es el Policloruro de Vinilo (PVC), aunque la tubería de Polietileno es también usada por su bajo costo.



Figura 1 Líneas para fabricación de manguera rural

En el extremo del extrusor, un cabezal o dará la forma del plástico a las dimensiones del tubo o perfil requeridos. Sin embargo, para asegurar la exactitud de dimensiones del producto, se hace necesaria la instalación de la unidad de formación o calibración, en la cual, el tubo o perfil adquirirá las dimensiones que aseguren.

Una vez logradas las dimensiones del producto, una tina de enfriamiento remueve el calor excedente, evitando cualquier deformación posterior del producto. Antes de la tina de enfriamiento, no es posible aplicar ningún esfuerzo o presión al producto sin correr el riesgo de provocar una deformación permanente. Junto a la tina de enfriamiento, un elemento de tiro aplica una tensión o jalado constante al material para que esté siempre en movimiento. Por último, dependiendo de la flexibilidad del producto, una unidad de corte o de enrollado prepara el producto para su distribución como se muestra en la figura 1.

El cabezal con mandril-araña es empleado en el procesamiento de PVC; éste material por su tendencia a la degradación, exige canales de flujo que no causen turbulencias ni estancamientos de material, este tipo de cabezal es el que se usa en la fábrica para la elaboración de la manguera de PVC, porque la araña o placa rompedora ayuda a optimizar la presión dentro del husillo y hacer que se conserve el flujo de material y evitar variaciones en el espesor de pared del producto final, tal como se muestra en la Figura 2.

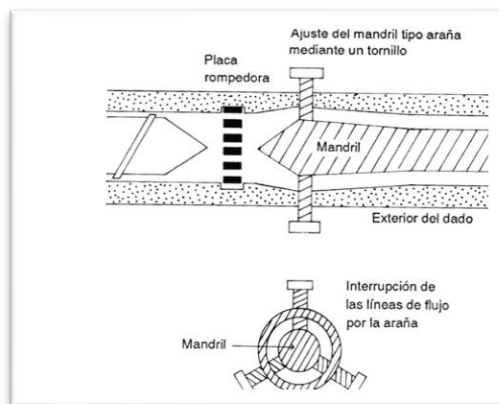


Figura 2 Dado de Extrusión para tubería

PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

Ayudas de proceso (aditivos) que disminuyan la densidad volumétrica

Las ayudas de proceso más recurrentes para reducir la densidad volumétrica son los espumantes. Los compuestos químicos que al encontrarse a altas temperaturas se descomponen produciendo gases, se utilizan para generar espacios en el material, reducir peso y bajar costo de producción final, incrementan resistencia mecánica, aislamiento acústico y térmico; de esta forma se pueden obtener productos con otra apariencia y propiedades. Durante el procesamiento, los agentes espumantes se integran dentro del polímero para crear una estructura celular. Algunos de los aspectos más relevantes que tienen que ser considerados al usar este tipo de compuestos son: el tipo de agente espumante, la facilidad de dispersión del gas, la temperatura y presión de procesamiento, así como la viscosidad de la masa fundida.

Los agentes espumantes se clasifican en dos Grupos.

Espumantes Físicos.

Este grupo se encuentra formado por gases que se pueden comprimir y líquidos volátiles.

Los gases comprimidos más utilizados son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono y gas natural; estos se adicionan al plástico bajo presión para producir espumado.

Los líquidos volátiles, cambian al estado gaseoso por medio de las elevadas temperaturas de procesamiento. Dentro de éstos, se encuentran los hidrocarburos alifáticos fluorados, los clorofluorocarbonos (CFC) y los clorofluorometanos, que convencionalmente se utiliza en poliuretano espuma rígida y flexible, y en algunos otros materiales, como el poliestireno (PS), polipropileno (PP), PVC y resinas fenólicas.

Espumantes Químicos

Son compuestos sólidos que se descomponen a las temperaturas de procesamiento del polímero y generan el gas que forma la estructura celular. El criterio más importante para su selección es su rango de temperatura de descomposición. La reacción de descomposición se lleva a cabo cuando el polímero se encuentra en estado fundido. Los espumantes químicos son orgánicos e inorgánicos, se aplican en casi todos los termoplásticos. Dentro del grupo de los inorgánicos el más utilizado es el bicarbonato de sodio, pero su aplicación es limitada porque su descomposición es menos controlable que los espumantes orgánicos.

MUCELL (TREXEL, 2018)

La extrusión de estructuras espumadas mediante CO₂ difiere de la tradicional con isobutano en varios aspectos. Sobre todo, en el poder de mezclado. En la extrusión con CO₂ se requiere un mayor poder de mezclado puesto que la miscibilidad del CO₂ con los polímeros tradicionales (PS) es menor que la del isobutano.

La empresa Trexel tiene la patente sobre la tecnología (MuCell) tanto para extrusión como para inyección. Consiguen tamaños de celda de 5-50 micras con una distribución uniforme, utilizando gases como el N₂ y el CO₂ en estado supercrítico como agentes espumantes físicos. La tecnología, aunque no esté desarrollada para un sector en específico, se utiliza mucho para el sector automotriz y el sector eléctrico-electrónico. En ambos sectores se aprovechan las ventajas de los espumados en cuanto a reducción de peso y a propiedades de aislamiento térmico y acústico. Rasgos diferenciadores y únicos de la tecnología.

El CO₂ puede utilizarse, no sólo como agente espumante, sino también como agente para la ayuda en el procesado, reduciendo la viscosidad del plástico fundido.

Expancel. (AKZO NOBEL, 2018)

Las microesferas Expancel son un aditivo que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones. Son partículas esféricas muy pequeñas formadas por una capa externa de plástico del mismo tipo en donde se va a utilizar con un gas encapsulado. Para expandirlas, se aplica calor con lo cual la presión interna del gas aumenta y la capa externa se ablanda produciendo un incremento en el volumen de las microesferas. El peso o densidad de un material se pueden reducir incluso con cantidades muy pequeñas de microesferas en un porcentaje de entre 0.1% al 3 %; eso resultará en, por ejemplo, una reducción del costo por volumen, menos gastos de envío. Expancel puede expandirse para reducir la densidad del producto hasta en un 50% del valor del polímero en su estado original.

ANALISIS DE ESPUMANTE

El uso de este tipo de ayudas de proceso permite tener un mejor control del proceso al monitorear y controlar un menor número de variables, ya que solo se modificará o variará los porcentajes de agente espumante. Después de revisar y analizar las ventajas de ambas tecnologías (EXPANCEL y Mucell), se decidió que la mejor alternativa es plantear el análisis de experimentos con el EXPANCEL, ya que este es un aditivo compatible con el PVC, y cuya disponibilidad puede ser inmediata. Por contrario, en el caso del proceso MUCCELL, se requiere de una inversión para la adquisición de un equipo periférico cuyo precio en el mercado oscila entre \$30,000 a \$50,000 USD y está siendo utilizado en la industria automotriz para reducir el peso de piezas plásticas que se fabrican en volúmenes muy altas en comparación de la producción que se tiene en nuestra planta, por lo cual el retorno de inversión sería a muy largo plazo y sin la garantía de que puedan hacerse pruebas previo a la compra del equipo, lo que lo vuelve inviable.

Análisis de absorción de agua en PVC espumados

Para poder calcular el nivel de absorción de agua en el PVC, se tomó un lapso de 0 a 90 días, con una variación en el porcentaje de espumante que se colocó al producto, se hizo una inmersión de PVC, antes de introducir la al agua fueron pesadas y después de iban pesando cada determinado tiempo, con el fin de obtener la diferencia de peso contra el original y así ver que tanta agua es absorbida por el material.

Se utilizó la siguiente fórmula para obtener el resultado.

$$\Delta M_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100$$

Ecuación 1

Donde m_0 representa la masa inicial y m_t representa la masa durante la inmersión.

También podemos obtener la densidad de las células volumétrica a través de la siguiente formula, esto es determinado con el uso de un Microscopio de escaneo de electrones (SEM):

$$V_f = 1 - \frac{\rho_f}{\rho} \quad (2)$$

$$N_o = \left(\frac{nM^2}{A} \right)^{3/2} \left[\frac{1}{1 - V_f} \right] \quad (3)$$

Ecuación 2

Con esto podemos obtener esta grafica que nos ayuda a visualizar que nivel de absorción tiene en base a la cantidad de espumante a través del tiempo

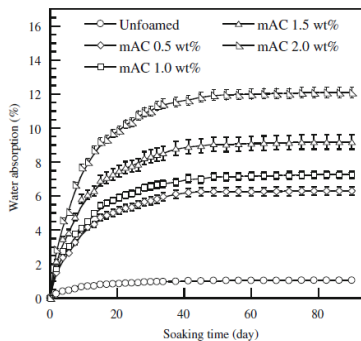


Figura 3 Absorción de Agua

Table 2 The calculated n , k and the diffusion coefficient from the linear fitting

Sample	Final water absorption (%)	n	k (h ²)	Fitting of experimental data	Diffusion coefficient (m ² /s) × 10 ⁷
Unfoamed	1.03	0.470	0.041	$y=0.4703x-1.3871$	0.193
mAC, 0.5 wt%	6.30	0.529	0.040	$y=0.5292x-1.3998$	1.04
mAC, 1.0 wt%	7.25	0.550	0.044	$y=0.5499x-1.3561$	1.56
mAC, 1.5 wt%	9.17	0.569	0.456	$y=0.5694x-1.3409$	2.03
mAC, 2.0 wt%	12.1	0.504	0.491	$y=0.5939x-1.3086$	2.82

Tabla 1

Por lo tanto podemos concluir con la ayuda de la Tabla 1 que Absorción máxima de agua se da en coeficiente más de difusión, cuando mAC (espumante) se aplicó a 2,0% en peso. Esto nos ayuda a saber que lo ideal será no rebasar el 1.5% de espumante para no tener un porcentaje superior del 10%, ya que arriba de este número podríamos correr el riesgo de disminuir la vida útil del producto.

Disminución por espumante tipo Expancel.

La primera opción será usar aditivos que permitan que la densidad volumétrica del PVC utilizado se reduzca en al menos 20% del peso actual, los más adecuado para este proceso son los espumantes controlados el cual por medio de gas ocupan espacio dentro de la estructura y por medio de esto reducen la densidad del producto sin provocar alguna falla. Se realizarán pruebas con el fin de cumplir con las especificaciones de la manguera, la cual, debe de cumplir al menos las siguientes:

PRESIÓN DE TRABAJO: 90 PSI a 25°C.

PRESIÓN DE VACIO: 1 ATM = 760 mm de Hg

TEMPERATURA DE TRABAJO: Desde -10°C hasta 60°C.

Se plantea hacer un porcentaje tomando como base la Tabla 2

FACTOR	DESCRIPCION	NIVEL 1	NIVEL 2
A	TIPO DE RESINA	TIPO 1	TIPO 2
B	CONCENTRACION DE ESPUMANTE	1%	1.50%
C	TIEMP DE CICLO DE EXTRUSION	10 seg	15 seg
D	PORCENTAJE DE PIGMENTACION	3%	5%
E	VELOCIDAD DE MANDRIL	800 RPM	900 RPM

Tabla 2 DATOS DIAGRAMA DE GANTT

En este caso estamos interesados en analizar el efecto de 5 efectos o factores a dos niveles cada uno, por lo tanto, se usará un arreglo ortogonal L8. Esto implica que se ejecutarán 8 pruebas o condiciones experimentales. Por otra parte, se disponen de 7 columnas, a cada columna se le puede asignar o asociar un factor. Si en particular, asignamos los factores en orden a las primeras cinco Columnas, dejando libres las últimas dos columnas, el arreglo queda. Estamos considerando los factores que podemos modificar durante el proceso de fabricación de nuestro producto, a mayor concentración de espumante deberá ser mayor el tiempo de extrusión, para poder aprovechar el factor espumante en la materia prima, una vez que se controle el espumado esto ocasionara dos factores, el espumado produce una

trasparencia dentro del PVC al generar burbujas de aire dentro del PVC, por ende entre mayor sea el espumado mayor deberá ser la cantidad de pigmento para evitar variación en el color y al tener mayor espumado, el grosor del PVC aumentara por lo tanto deberá de correr el mandril a mayor velocidad para conservar el mismo espesor que se tiene dentro de las tabla 3 de especificación del producto.

NO.	A	B	C	D	E	e1	e2	RESINA	Concen.	Tiempo	Pigm.	RPM	Yi
1	1	1	1	1	1	1	1	TIPO 1	1.0%	10 seg.	3%	800	Yi1
2	1	1	1	2	2	2	2	TIPO 1	1.0%	10 seg.	5%	900	Yi2
3	1	2	2	1	1	2	2	TIPO 1	1.5%	15 seg.	3%	800	Yi3
4	1	2	2	2	2	1	1	TIPO 1	1.5%	15 seg.	5%	900	Yi4
5	2	1	2	1	2	1	2	TIPO 2	1.0%	15 seg.	3%	900	Yi5
6	2	1	2	2	1	2	1	TIPO 2	1.0%	15 seg.	5%	800	Yi6
7	2	2	1	1	2	2	1	TIPO 2	1.5%	10 seg.	3%	900	Yi7
8	2	2	1	2	1	1	2	TIPO 2	1.5%	10 seg.	5%	800	Yi8

TOTAL= 2.64

Tabla 3 Tablas de especificación del producto

El análisis de resultados se puede efectuar de dos maneras diferentes. Una de ellas mediante una serie de gráficas, la otra mediante el análisis de varianza, se muestra el uso del análisis de varianza planteado ya que el alcance en este proyecto no nos permitirá llegar a la parte experimental y se deja planteado en cuanto este se pueda llevar a cabo.

Cálculo de Densidad volumétrica.

El trabajo de poder realizar una prueba de cálculo de densidad volumétrica la pudimos realizar gracias a una muestra de laboratorio controlada que se pudo realizar en las oficinas del fabricante el espumante. Se realizó un pequeño probeta de material espumado con el espumante EXPANCEL 920-120 a una cantidad de 2.6%, que es la máxima recomendada.

Se obtiene el siguiente resultado usando la Fórmula de Densidad Volumétrica expresada en la Tabla 4.

CALCULO DE DENSIDAD VOLUMETRICA					
CONDICIONES					
DENSIDAD ORIGINAL PVC:	1.2	g/cm3			
PORCENTAJE EXPANCEL	2.60	%			
ANCHO (A)	72.73	mm	=	7.27	cm
LARGO (B)	97.8	mm	=	9.78	cm
ESPESOR (C)	5.25	mm	=	0.53	cm
VOLUMEN					
A * B * C =	37343.22	mm3	=	37.34	cm3
masa	31	gr			
Densidad del PVC con ESPUMANTE					
ρ	=	masa	=	$\frac{31}{37.34}$	= 0.83 g/cm3
		Volumen			
REDUCCION DE DENSIDAD					
				30.8%	

Tabla 4 Cálculo de densidad Volumétrica

Se debe considerar que si podemos poner la cantidad de espumante máxima podemos reducir la densidad en un 30.8%, lo cual supera las expectativas, cabe recordad que si tomamos en consideración que un material espumado puede absorber mayor cantidad de agua debemos irnos a un porcentaje menor para evitar que este funcione como una esponja y el peso de la manguera suba por el simple hecho de la absorción de agua durante su trabajo. El anexo 1 de este trabajo nos recomienda que el espumante no debe de exceder del 1.5% para evitar que este tenga absorción, por lo tanto las pruebas de espumado se llevaran a cabo con el 1.5% y con base a esto podemos obtener la disminución en un 20% como se esperaba.

CONCLUSIONES

- Tomando en cuenta el Artículo de Absorción de agua en plásticos espumados se concluye que el porcentaje máximo admisible de adición de espumante no deberá de sobrepasar el 1.5%, ya que según el artículo antes mencionado nos comparte que una vez que se ya que al llegar al 2% se encuentra un nivel de absorción muy alto, y esta manguera podría aumentar su peso si absorbe agua y el mecanismo de disminución de peso se vería ahora afectado por el fenómeno de absorción. Ya que este funcionaria como una esponja y no es lo ideal para la aplicación que tenemos
- Debido al alto costo de inversión inicial que se requiere para la compra de la maquinaria para usar el MUCCELL, se decidió iniciar el proceso de espumado a través de EXPANCEL, al ser un espumante que se usa como un aditivo, a diferencia que MUCCELL que es parte de un proceso adicional y que para justificar su inversión se requiere un mayor volumen de fabricación.
- Se hicieron prueba empíricas con el espumante EXPANCEL 920-120 y se encontró problemas de adhesión entre las capas, por lo cual se tendrán que mejorar el proceso para garantizar la unión en la manguera.
- Se plantea un tiempo desde el inicio del proyecto hasta su comercialización de 90 semanas, esto con el fin de realizar las pruebas en laboratorio y las pruebas en campo pertinentes para un lanzamiento al público exitoso.
- Debido a que durante el proceso de esta tesis la empresa fue cerrada, se deja planteado el proyecto para iniciar de cero es por eso que el proceso de estaría prolongando en tiempo ya que se tendría que adquirir tanto maquinaria como la creación de una nueva compañía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua.* PNUD, 2006
2. Procesamiento de plásticos, Morton-Jones, LIMUSA, 2006.
3. G. Odian, "Principles of Polymerization", Mc. Graw Hill inc., New York (1970).
4. Influences of water absorption on the properties of foamed poly(vinyl chloride)/rice hull composites, Nawadon Petchwattana & Sirijutaratana Covavisaruch & Dhisana Pitidhamabhorn, Polym Res (2013) 20:172 DOI 10.1007/s10965-013-0172-y
5. <https://trexel.com/technology-solutions/mucell/>
6. "Enciclopedia del Plástico 2000"; Centro Empresarial del Plástico.
7. <http://www.akzonobel.com/exancel/aboutexancel/languages/spanish/index.aspx>