

“APLICACIÓN DE RECICLADOS DE MADERA Y PLÁSTICO EN LA SUSTITUCIÓN DE MADERA DE CIMBRA PARA LA CONSTRUCCIÓN”.

Convocatoria y Clave del Proyecto:	CONAVI-2008-101751.
Sujeto de Apoyo:	Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, A.C.
Responsable Técnico:	Dr. Sergio Alonso Romero.

En el proyecto de investigación, CONAVI 101751, el objetivo general fue “desarrollar materiales compuestos elaborados a base de plástico reciclado con fibra (virutas) de madera para ser utilizados como un sustituto de cimbra (madera) en la industria de la construcción”. La metodología fue concebida para cumplir el objetivo general desarrollando un material compuesto PET reciclado-aserrín cuyas propiedades mecánicas al menos fueran las de la madera, esto con el fin de competir mecánicamente con la madera para cimbra en una aplicación estructural temporal. Además, otro objetivo importante planteado fue la transferencia de la tecnología, para lo fueron ejecutados un estudio de mercado (subcontratado) y desarrollado un plan de negocios, el cual fue realizado con el apoyo del ITESM Campus León. Asimismo, objetivos científicos como al menos un artículo científico, congresos, y una tesis de maestría fueron propuestos y cumplidos.

Los factores principales identificados en el desarrollo del nuevo material fueron: contenido de aserrín, tamaño de partícula del aserrín, agente de acoplamiento, y tipo de PET. Estos factores fueron analizados y el material optimizado con cuatro diseños experimentales por medio de la técnica de superficie de respuesta: 3x23-1, 24, y 22 con tres puntos al centro, y por último un diseño 22 con puntos en las caras.

Los experimentos fueron realizados considerando la siguiente metodología general:

1. Calentamiento de cámara de mezclado.
2. Adición de PET.
3. Adición de agente de acoplamiento.
4. Adición de aserrín y proceso de mezclado evitando quemar el aserrín.
5. Vaciado de cámara de mezclado y toma de muestra.
6. Molienda de muestra.
7. Moldeo por compresión para obtener placas de material.
8. Suajado de probetas.

9. Pruebas de tensión y flexión.

A partir del último diseño corrido se realizó una optimización simultánea de las respuestas resistencia a la tensión y resistencia a la flexión por medio del método de deseabilidad. Se obtuvo un modelo de segundo orden en términos de los mismos k factores de control incluidos en el diseño. La corrida que maximiza la deseabilidad en la región de interés indicada está en la Tabla 1:

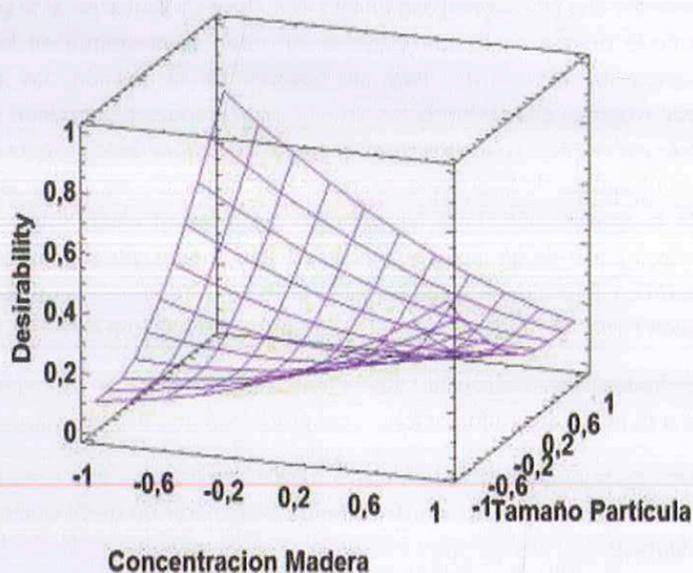
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración de aserrín	-1	1	-1
Tamaño de partícula	-1	1	1

Respuesta	Óptimo
Flexión	3.34362
Tensión	21.1994

Tabla 1. Experimento óptimo para las dos variables respuesta.

La superficie de respuesta estimada para la función de deseabilidad se muestra en la Figura 1, en la cual se aprecia que el nivel de los factores que maximizan las dos respuestas de manera simultánea es cuando la concentración de aserrín está en su nivel bajo y el tamaño de partícula en su nivel alto. Sin embargo, el extremo diametralmente opuesto también se tiene un máximo relativo, que conduce a una concentración alta de madera y un tamaño de partícula más fino.

El primer máximo supone que el material, al reducirle la concentración de madera, va a aumentar su resistencia drásticamente hacia arriba, lo cual en la práctica es improbable ya que eso supone que se debe de utilizar sólo PET. Hay que recordar que uno de los objetivos del proyecto fue desarrollar el material compuesto, pero implícitamente también se trata de minimizar el costo. He aquí dos fórmulas que maximizan las prestaciones mecánicas, pero con costos diferentes. Por ello, es más sugerible trabajar con alta concentración de aserrín y menor tamaño de partícula.



Probetas de madera geoméricamente semejantes a las utilizadas en las pruebas mecánicas de flexión y tensión fueron evaluadas en la máquina universal de pruebas. Intentaron suajarse, pero no fue posible debido a resquebrajamiento de la muestra. El molde fue llevado a un carpintero para que hiciera las muestras. Los resultados se muestran en la Tabla 2:

103

Flexión			Tensión		
Probeta	Respuesta (kgf)	Desviación del Promedio (%)	Probeta	Respuesta (kgf)	Desviación del Promedio (%)
1	3.92	8.287	1	46.53	47.284
2	4.93	36.188	2	19.40	-38.592
3	4.23	16.851	3	44.68	41.428
4	2.85	-21.271	4	19.02	-39.795
5	2.17	-40.055	5	28.33	-10.325
Promedio	3.620		Promedio	31.592	
Optimo	3.3436		Optimo	21.1994	

Tabla 2. Resultados de las pruebas de tensión y flexión para probetas de madera.

Se puede observar una alta variabilidad en los resultados; sin embargo, sí se puede notar que los valores de la prueba de flexión están en el orden de magnitud de las muestras del material compuesto PET-aserrín. Para los valores de la tensión, las respuestas son notablemente mayores que las probetas de material compuesto; se puede decir que están dos veces más resistentes. En ambos casos el efecto de la fibra de la probeta de madera está orientado en el sentido de la probeta, precisamente el sentido de uso en la cimbra para la industria de la construcción. Para las probetas de material compuesto, su manufactura llevada a cabo a partir de un moldeo por compresión implica que no hay orientación de la fibra de aserrín en el sentido longitudinal de la probeta. Esto implica sin duda diferencias en la comparación haciendo nuestro material compuesto aparecer con menores propiedades.

De estos resultados podemos concluir que el material PET-aserrín no es mejor que la madera para cimbra si es manufacturado por medio del proceso de moldeo por compresión.

La elaboración de la mejor fórmula (Tabla 1) fue desarrollada en una extrusora Leistritz de doble husillo utilizando un dado circular tratando de generar un perfil cilíndrico de 2 cm de diámetro (Figura 2).

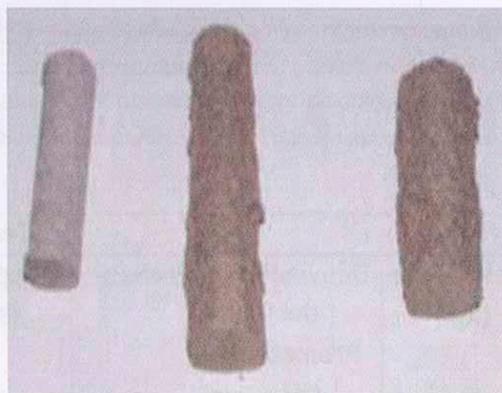


Figura 2. Perfil de PET y de extruido de material compuesto PET-madera.

Los resultados fueron comparados con una probeta de madera de pino circular, obtenida comercialmente. La Figura 3 muestra la curva de compresión, la cual coincide con la curva típica de evaluación mecánica de una muestra plástica.

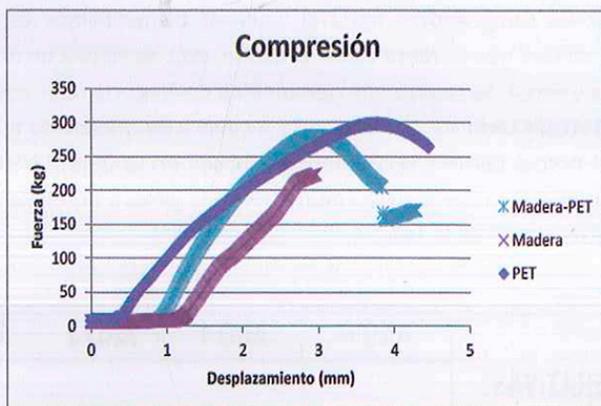


Figura 3. Perfil de fuerza a compresión del material extruido PET-madera.

En este caso se evaluó el módulo a compresión. Ya con el perfil extruido y las fibras de aserrín orientadas en la dirección de extrusión tenemos los siguientes resultados:

Material	Módulo de Young (MPa)
PET-aserrín	0.194
PET	0.167
Madera	0.1103

Tabla 3. Módulo de Young a compresión para las probetas extruidas en la extrusora Leistritz.

Haciendo la relación proporcional entre el material compuesto propuesto en la Tabla 1 y la madera de pino, a compresión, tenemos que el material compuesto PET-aserrín es 1.75 veces más fuerte. Y por lo tanto, técnicamente, puede usarse como material estructural en la industria de la construcción. Sin embargo, la resistencia al impacto, aunque no fue evaluada experimentalmente, fue evidentemente baja (material quebradizo), lo que representa una desventaja competitiva. El estudiante de doctorado Javier Cruz, quien obtuvo su grado de maestría trabajando en el proyecto, va a continuar el trabajo en el PICYT León incrementando la resistencia al impacto.

La transferencia de la tecnología fue un punto importante abordado desde la propuesta del proyecto. Es decir, se planeaba desde el principio tener las bases de la puesta en marcha del negocio de manufactura de la cimbra. Se realizó un estudio de mercado que cuantificó el mercado potencial de cimbra en los Estados de Guanajuato, Aguascalientes y Querétaro. Se encontró que se construyen anualmente de 2.5 millones de m², pero tomando en cuenta

diversas consideraciones como aptitud hacia el material, disponibilidad de materia prima, superficie cimbrada, cimbra que se renta y que se vende, etc., se llegó a un mercado meta de 26 mil m2 para renta y venta. Se realizó también un Plan de Negocio realizado bajo la tutoría de la incubadora del ITESM León; se encontró que la cimbra de madera es muy barata y que el incremento en el precio del PET reciclado de 4 pesos en 2009 a 13.50 en 2011 hace inviable económicamente el material para competir con la cimbra de madera. Los números financieros finales se muestran en la Tabla 4.

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
+ ENTRADAS OPERATIVAS:				
Ventas y Rentas	0	2,106,300	2,239,560	2,319,335
- TOTAL DE SALIDAS				
Costos fijos y variables	5,955,016	2,805,478	2,313,676	2,392,277
FLUJO NETO	44,984	- 654,194	- 728,309	- 801,251

Tabla 4. Resumen financiero calculado para el Plan de Negocios.

El beneficio potencial del proyecto está en la utilización de materiales reciclados para la elaboración de artículos de mayor valor agregado, en este caso sugiriendo fachaletas y tejas, no cimbra plástica. El mercado potencial de tales productos no está cuantificado, pero el consumo de material en su aplicación original de cimbra era de 62 toneladas de material plástico compuesto PET-aserrín. Quizá se pudiera mantener la mitad de ese consumo para el mercado sugerido ahora, lo cual ha sido propuesto a la CMIC Sección Guanajuato.

Ambientalmente, el proyecto ofrece la reutilización de desechos sólidos reduciendo su acumulación al convertirlos en una atractiva fuente de materia prima para productos de mayor valor agregado, reciclando tanto desechos de madera como plásticos. Además, la tasa de recuperación del material plástico compuesto a elaborar es casi del 100% donde prácticamente todo el plástico utilizado en el proceso podrá ser reutilizado como materia prima. Si bien es cierta la solución que provee este proyecto puede ser muy viable económicamente para fabricar fachaletas y tejas, su impacto dependerá del tamaño de la industria emprendida con la tecnología. La realidad en el mundo es que no hay una solución que resuelva todos nuestros problemas ambientales de tajo, pero se puede contribuir con un granito de arena para conservar el medio ambiente.



Figura 4. Presentación del proyecto al Presidente de México C. Lic. Felipe Calderón Hinojosa en la inauguración del Parque CIEEN del ITESM Campus León.