

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO DE CARGA PARA EL USO DEL RECICLADOR INFORMAL - UNA PROPUESTA PARA MEDELLÍN

Dora Luz Yepes Palacio<sup>1</sup>, Andrés Felipe Roldán Cardona<sup>2</sup>, Junes Villaraga Ossa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dora Luz Yepes Palacio. Docente Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia, dlyepes@elpoli.edu.co.

<sup>2</sup> Andrés Felipe Roldán Cardona. Ingeniero Mecánico Universidad de Antioquia, felan84@hotmail.com.

<sup>3</sup> Junes Villarraga Ossa. Docente Universidad de Antioquia, junes@udea.edu.co  
Carrera 48 N° 7-151 Medellín - Colombia

## RESUMEN

Según el censo de recicladores informales de la ciudad de Medellín, para el año 2005 había cerca de 3190 personas dedicadas a la recuperación de residuos sólidos. La mayor parte de ellos utiliza para el transporte de residuos, carretillas de madera, carros de rodillos y costales que cargan a cuestas, generando problemas ambientales y ocupacionales que pueden incidir en la salud del reciclador. Para aportar una solución, el grupo de Higiene y Gestión Ambiental -GHYGAM del Politécnico Jaime Isaza Cadavid ejecutó en convenio con el departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de Antioquia, la investigación denominada "Construcción de un prototipo de carretilla para el reciclaje informal". Se realizó una revisión detallada de los vehículos utilizados para el reciclaje en diversas regiones del mundo y se aplicó un método experimental en un centro de acopio de residuos reciclables de Medellín, originando la definición de parámetros de diseño para la construcción del prototipo de vehículo. Finalmente se realizaron pruebas de campo para determinar la aceptabilidad y funcionalidad del vehículo, el cual se espera sea mejorado con el apoyo institucional.

**Palabras clave:** Residuos sólidos, reciclaje informal, Reciclador, Prototipo de vehículo, Medellín.

Recibido: 1 de octubre de 2010. Aceptado: 12 de mayo de 2012.

Received: October 1<sup>st</sup>, 2010. Accepted: May 12<sup>th</sup>, 2012.

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF PROTOTYPE OF VEHICLE FOR INFORMAL RECYCLING – A PROPOSAL FOR MEDELLIN

### ABSTRACT

*According to the informal waste recyclers census of Medellin 2005, there are approximately 3190 people dedicated to recovery solid wastes. The majority of them use wooden and roller handcarts as well as fabric bags loaded on their backs to transport the material. This activity generates environmental and occupational problems that can have an adverse effect in the recycler's health. To create a solution the Hygiene and Environmental Management group of the Colombian Polytechnic Jaime Isaza Cadavid in agreement with the mechanical engineering department of the "University of Antioquia" coordinated the research called: "Construction of a barrow prototype for the informal recycler." For its development, a detailed review of the vehicles used for recycling in diverse regions of the world and the application of an experimental method in a gathering center of recyclables wastes in Medellin was made. This way, the parameters of design were defined for the construction of the car prototype; finally field tests were executed to determine the acceptability and functionality of the vehicle, which is expected to be improved by institutional support.*

**Keywords:** Solid waste, informal waste recycling, recycler, prototype of vehicle, Medellín.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los instrumentos de trabajo en cualquier proceso de producción son fundamentales, su desarrollo tecnológico, la propiedad que se tiene sobre ellos, su capacidad y características, la calidad de los materiales piezas o añadidos, la funcionalidad, maniobrabilidad, condiciones de confort durante el uso e impactos generados sobre el usuario, determinan entre otros factores, la productividad en el trabajo, la satisfacción en la labor y los ingresos percibidos. Dentro de los instrumentos de trabajo que utiliza el reciclador informal se encuentran, la carretilla de madera, los sacos o costales de polipropileno y los carros de rodillos principalmente. El primero de estos es uno de los más utilizados en la ciudad de Medellín, por lo que puede decirse que es su principal instrumento de trabajo. Según el censo de recicladores antes mencionado, casi el 100% de estos la utilizan, de los cuales el 75% la obtienen en calidad de alquiler.

La carretilla comúnmente utilizada por los recuperadores informales de la ciudad está fabricada en madera y al ser un material de constitución blanda para este tipo de actividad, se deben utilizar trozos muy gruesos para conformar su estructura, también, posee un sistema de rodamiento de caucho que no es del todo circular, sino que se asemeja a un polígono de seis o más lados, por este motivo al ser empujado o halado sobre el pavimento de una vía pública produce vibraciones sobre el cuerpo del operario, ya que no poseen ningún tipo de amortiguamiento que sea capaz de absorber la energía adquirida durante los desplazamientos. Según Gómez y Sarmiento, 2003, las condiciones de manejo y estructura de la carretilla impactan negativamente la salud del reciclador.

Los aspectos mencionados se constituyeron en las razones principales que soportaron la necesidad de materializar y evaluar un nuevo modelo de instrumento de trabajo para el reciclaje informal en Medellín, que permita en un futuro condiciones laborales más dignas para los recicladores.

La idea de construcción de un prototipo de vehículo para el reciclador informal partió fundamentalmente del problema ambiental y social que circunda en torno a la actividad de recuperación residuos sólidos en Medellín y otras ciudades del mundo. El objetivo principal fue proponer un modelo experimental de carretilla para el transporte de material reciclado, que a futuro se refleje en unas

mejore condiciones de trabajo y bienestar para esta población. Además, determinar la aceptabilidad de dicho prototipo por parte de la población recicladora. Para ello se identificaron los parámetros y criterios de diseño que llevaron a materializar el instrumento final y que fueron concebidos por un equipo de trabajo interdisciplinario conformado entre profesionales y estudiantes del Politécnico Jaime Isaza Cadavid y la Universidad de Antioquia. Dichos parámetros fueron elaborados a la luz de las condiciones reales de trabajo del recuperador informal en Medellín e incluyeron diversas variables tales como, la capacidad del vehículo, el peso y volumen, el tipo de materiales para la construcción, los costos y la comodidad para el usuario final.

Una vez materializado el prototipo de vehículo se realizaron algunas pruebas en campo finales con recicladores para determinar su funcionalidad y aceptabilidad por parte de la población recicladora, para ello se contó con la colaboración del Centro de Acopio N°. 2 del municipio de Medellín. Como resultado de este proceso se recomendaron algunos ajustes y mejoras finales para ser incorporados al vehículo. Se espera que como prototipo pueda ser todavía mejorado e incorporado con el apoyo de las instituciones municipales a la labor del reciclador.

Es menester aclarar que como todo "*prototipo*", el instrumento diseñado debe ser concebido como un producto terminado al que se llegó en la fase de investigación y desarrollo, pero que no es todavía el definitivo ni el que se comercializa, dado que como primer ejemplar o modelo a escala o facsímil de lo real, aún requiere ajustes y por lo tanto no es tan funcional como para que equivalga a un producto final, dado que no involucra la totalidad de las funciones necesarias del sistema final, proporcionando una retroalimentación temprana por parte de los usuarios acerca del sistema.

## 2. REVISIÓN DE OTROS VEHÍCULOS UTILIZADOS PARA EL RECICLAJE INFORMAL

El objetivo de la revisión de diversos vehículos utilizados para el transporte de material reciclado en algunas regiones del mundo, fue proporcionar ideas al grupo investigador para fortalecer las propuestas de mejoramiento del vehículo existente y a la par idear fortalecer los parámetros y criterios de diseño del nuevo prototipo. En esta etapa se

revisaron vehículos de localidades de Colombia, España, Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, China, entre otros. Algunos de los vehículos revisados son:

**Carretilla tradicional de Medellín.** Como se ha mencionado ya, la carretilla de madera que se utiliza actualmente es el instrumento más utilizado por los recicladores de Medellín. Este instrumento, no cuenta con ningún tipo de compartimento que permita sostener de forma efectiva el material recuperado por lo que los accesorios rudimentarios utilizados hacen que el centro de gravedad de la misma se desplace produciendo el volamiento fácil de la misma. Esta misma situación hace que la ventaja que ven los recuperadores en la carreta de dos ruedas para subir pendientes altas quede relegada, dado que al no tener ningún tipo de contención para el material, este puede ir quedando esparcido en la vía especialmente cuando se desplaza en subida. La maniobrabilidad del vehículo hace que las fuerzas que se ejercen sobre los recicladores, presenten compresiones y descompresiones en la columna vertebral del recuperador. Ver figura 1.



Fig. 1 Carretilla convencional en madera utilizada por los recicladores de Medellín.

**Vehículo diseñado en la Universidad EAFIT de Medellín.** Este instrumento ha sido uno de los proyectos más recientemente desarrollado por la universidad EAFIT en la ciudad de Medellín. Como resultado de este estudio se obtuvo un modelo de vehículo motorizado, capaz de soportar hasta 400 kg de peso y dos personas, lo que equivale aproximadamente a un peso total de 600 kg de capacidad de carga. Ver figura 2.



Fig. 2 La imagen corresponde a un modelo de vehículo construido por la universidad EAFIT

Las principales ventajas de este vehículo son, la agilidad para el traslado desde los parqueaderos hasta las zonas de trabajo y viceversa, la comodidad y facilidad de operación y la disminución de la fatiga para el trabajador al no tener que soportar parte del peso que genera el vehículo y la carga transportada. Las principales desventajas se traducen en el soporte y mantenimiento, por la compra de gasolina y aceites para el motor del vehículo, además, la contaminación atmosférica generada por la combustión de gasolina, los motores dos tiempos son muy poco eficientes y muy contaminantes.

**Triciclo adaptado.** Existen otros tipos de vehículos creados por los mismos recicladores que son adaptaciones realizadas a bicicletas, las cuales son unidas a cajones plásticos o de madera, estas son utilizadas en diversas regiones. Ver figura 3.



Fig. 3 Triciclo adaptado para el transporte de material recuperado en una localidad del Perú

**Otros vehículos.** En algunos centros comerciales de diversos países se han creado otros vehículos de menos capacidad que son concedidos a recicladores para recuperar los materiales dentro del establecimiento, como el ilustrado en la figura 4.



Fig. 4 Carretilla para centro comercial

La mayor parte de los vehículos de transporte de material reciclable que se revisaron han sido construidos o ensamblados empíricamente y de alguna manera los usuarios se han adaptado a su uso.

### 3. SOBRE LOS PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO

Los parámetros y criterios de diseño fueron la base para definir la estructura y características del prototipo. Estos fueron identificados partiendo de información secundaria disponible y algunas pruebas experimentales que fueron realizadas. Los parámetros se refieren a variables o propiedades medibles cuyo valor está determinado por las características de un sistema, en el caso del vehículo que se diseñó, estas fueron, la carga máxima, la resistencia, los volúmenes a cargar, entre otros. De otro lado, según Mott, 2006, un criterio de diseño se refiere a un valor o juicio que se establece y se define en un proceso de evaluación para juzgar el mérito de un objeto o un componente, por ejemplo, para definir la calidad de un vehículo que se quiere diseñar, su economía, su comodidad y seguridad, pueden constituirse en criterios de diseño del mismo.

Los criterios fueron definidos por un equipo de expertos con base en los antecedentes revisados, en el conocimiento existente sobre la población objeto de estudio, en información secundaria

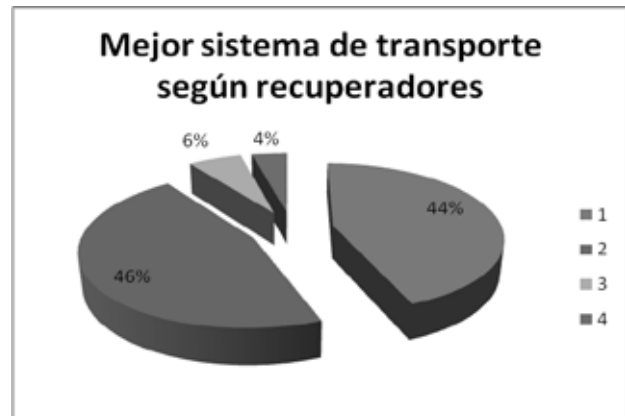
disponible y en los resultados de las pruebas experimentales en centros de acopio y durante las rutas de reciclaje informal.

#### 3.1 Los parámetros

Algunos parámetros considerados para el diseño del vehículo fueron:

**La jornada laboral y días laborados.** Según la alcaldía de Medellín, 2005, en promedio un reciclador trabaja en su labor 4 días por semana y acorde con Yepes, 2007 una jornada promedio es de 8,23 horas, muy cercana a la estimada por el municipio de Medellín. Por esta razón, el instrumento fue concebido para que funcione seis días laborales de la semana.

**Tipo de vehículo.** En cuanto a las preferencias de los recicladores asociadas al tipo de vehículo les brindaría mayores beneficios, los estudios muestran en primera instancia que un 46% de la población se inclinan por el uso de vehículos impulsados por fuerza humana para su movilización y un 44% prefieren utilizar vehículos de autopropulsión (con motor), un 6% impulsado por fuerza animal y un 4% otros (Yepes, 2005). Ver Gráfica 1



Gráfica 1. Concepción de los recicladores sobre el sistema de transporte más adecuado

Para reforzar la elección del tipo de vehículo se elaboró un análisis de ventajas y desventajas de cada sistema (manual y a motor) sobre el cual se concluyó que la opción a motor sería la más desfavorable dado los costos de adquisición, operación, mantenimiento del vehículo y capacitación de los operarios, los riesgos de accidentalidad y vandalismo, la contaminación generada por las emisiones atmosféricas. De otro

lado, aunque el sistema manual requiere más esfuerzos en su operación, las principales ventajas de este se traducen en la facilidad de maniobrabilidad tanto para hombres como mujeres, más bajos costos en construcción, operación y capacitación, la poca contaminación y el menos caos que generaría el proceso de adaptación al cambio. Considerando el balance entre ventajas y desventajas, y teniendo en cuenta la preferencia de la población, se decide diseñar un vehículo manual.

**Adquisición del vehículo.** De acuerdo con el seguimiento realizado a la población, el 63.46% considera favorable tener un vehículo propio para la tarea de recuperar los materiales, mientras que el 13.46% piensa que les afecta negativamente y al último 23.08% esta situación no les influye ni a favor ni en contra. Así mismo, los costos de adquirir un vehículo alquilado inciden negativamente en el rendimiento de la tarea, ya que se invierte más tiempo en desplazamientos hacia el sitio de alquiler. El parámetro definido por los expertos, establece que la población recuperadora pueda tener acceso a apoyo gradual institucional para la adquisición del nuevo vehículo, con el fin de aumentar los rendimientos en su labor.

**Pendiente de las rutas.** A la hora de pensar en la pendiente o inclinación de las vías por las cuales circulará el vehículo, resultó importante conocer las preferencias de los recicladores, según Yepes, 2005 para el 65.5% de la población la pendiente de las rutas no es un motivo que condicione la elección de las rutas, no obstante, el 25% prefiere una ruta plana para la realización de su actividad. Es lógico pensar que en una ruta con vías inclinadas el esfuerzo que debe realizar un reciclador es mayor, pero en realidad prima más la cantidad de material que se desea recolectar, independiente del esfuerzo que tenga que hacerse. Según el municipio de Medellín [2], aunque los recuperadores recorren toda la extensión de la ciudad, se concentran preferencialmente en las comunas 10 y 11, quizá por ser las más centrales y planas de la ciudad; en estas se recolectan las mayores cantidades de materiales y obtienen los mejores ingresos. También hubo que considerar que la mayor parte del material reciclable se produce en los barrios de estratos socioeconómicos 3 a 6 de la ciudad, los cuales se encuentran localizados en su gran mayoría, en las zonas de pendiente plana. Teniendo en cuenta lo anterior el vehículo fue diseñado para que opere

preferiblemente en vías de pendientes planas o bajas.

**Capacidad teórica del vehículo.** Para determinar la capacidad que debía tener el vehículo fue necesario conocer las cantidades promedio recuperadas, para ello se acudió a fuentes secundarias que posteriormente se cotejaron con el trabajo de campo realizado. Según el municipio de Medellín, 2005 y Sepúlveda, esta población, recupera en un día aproximadamente 128.258 kg de material reciclable. Se destaca la comuna Laureles - Estadio como aquella donde más se recolecta material. Ver tabla 1.

El dato anterior, no se aleja mucho del obtenido por Yepes, 2007 donde se estableció un promedio de 73,17 kg/día para hombres y de 51,25 kg/día para mujeres. Por lo tanto, en consenso de expertos se propuso un vehículo que ofreciera como mínimo una capacidad para 70 kg/día.

Tabla 1. Peso promedio de material recuperado por día

Materiales recuperados	Peso total (kg/día)	Promedio
Cartón	36344,8	14,6
Papel	26784,3	13,1
Vidrio	26329,1	14,5
Plástico	8922,2	8,0
Chatarra	26883,5	14,6
Metales	2994,1	5,2
Totales	128257,9	69,9

**Número y capacidad teórica de compartimentos.** El número de compartimentos del prototipo fue estimado con base en los materiales que más se recuperan informalmente, según la información arrojada por el censo de recuperadores de Medellín, lo cual fue cotejado posteriormente a través de pruebas de campo, se buscó que los materiales en el vehículo pudieran llegar a tener una adecuada clasificación para disminuir los impactos por el deterioro y contaminación de residuos, procurando preservar la calidad de los productos. De este modo se propusieron 4 compartimentos así:

a) *Papel:* peso promedio de 13.1 kg. En este compartimiento puede almacenarse el Papel archivo, la plegadiza y papel periódico.

b) *Vidrio*: peso promedio 14.5 kg. En este compartimento puede almacenarse el casco del vidrio o vidrio triturado.

c) *Chatarra y metales*: peso aproximado de 19.8 kg. En este grupo pueden mezclarse la chatarra, los metales y los chécheres. De esta cantidad 14.6 kg sería destinado para la chatarra y 5.2 kg para los metales.

d) *Cartón, plástico y otros*: peso promedio de 22.6 kg. En este grupo pueden mezclarse el cartón sin doblar y los materiales que se recuperan como unidades como son los envases de plástico y vidrio, las cubetas de huevo y los palos de madera.

Se previó que este compartimento debía ser el de mayor tamaño, dado el volumen ocupado por el cartón y los envases. De esta cantidad, 16,6 kg serían para el cartón y 8,0 kg para plástico, además, se consideró importante dejar un espacio prudente para almacenar 20 unidades mas (envases, tarros plástico, palos de escoba, etc.) o residuos que son vendidos por unidad y no por peso.

**Volúmenes reales y pruebas experimentales.**

Para calcular el volumen de los compartimentos se utilizó la densidad de los materiales estimada desde el punto de vista experimental y no teórico, para ello se realizaron pruebas de campo en un centro de acopio municipal de material reciclado, con el objetivo de determinar las densidades reales de los materiales y proceder a calcular el volumen más próximo a la capacidad real requerida por el prototipo. Las pruebas se ejecutaron en el centro de acopio municipal N° 2 ubicado en la calle 58 N° 51D-30 de Medellín, a lugar los recicladores llevan los productos recuperados para su venta. Para este proceso de obtención de la densidad se siguieron los siguientes pasos:

- Se procedió a construir dos cajones de madera con dimensiones iguales a las calculadas teóricamente, uno para el papel, vidrio y chatarra, y otro de mayor tamaño para el cartón y envases de plástico. Dichos cajones se sometieron a calibración en la medida que ingresaban los recicladores con el material recuperado al centro de acopio.
- Con los cajones construidos fueron llevados hasta el centro de acopio municipal N° 2. donde se procedió a almacenar, pesar y medir el volumen ocupado por cada tipo de residuo que ingresaban

los recicladores, con estos datos se calculó la densidad real. Estas mediciones se realizaron por espacio de 15 días durante toda la jornada laboral.

- Los datos registrados fueron: peso del material, ancho, largo y alto del espacio ocupado por el material dentro de cada cajón. En los casos en los cuales el material sobrepasó las dimensiones del cajón, estas también fueron registradas y consideradas para calcular el volumen total requerido.

- Adicionalmente se registraron las observaciones o eventualidades que pudieren alterar las mediciones.

- Para hallar la densidad real de cada tipo de material, se relacionó la masa con el volumen ocupado en el cajón por cada tipo de material. Teniendo en cuenta que el comportamiento de los datos obtenidos tenían datos extremos se estimaron los promedios utilizando la mediana. En la tabla 2 se relaciona una síntesis de los resultados finales obtenidos.

Tabla 2. Cantidades promedio diarias de materiales recuperados informalmente que ingresan al Acopio municipal N° 2.

Tipo de Material	Peso prom. (kg/día)	Volumen Promedio (m <sup>3</sup> /día)	Densidad estimada promedio
Cartón	15,2	0,32	46,05
Cartón plegadiza	5,6	0,08	75,41
<i>Total cartón</i>	20,8	0,41	
Pasta (Plástico rígido)	4,21	0,16	25,66
PET (Envases)	2,4	0,15	17,39
Polipropileno (recipientes flexibles)	4,0	0,11	30,20
Bolsas plásticas	2,2	0,11	28,50
<i>Total plástico</i>	12,81	0,52	
<i>Total latas y chatarra</i>	3,75	0,07	89,29
<i>Total vidrio</i>	8,3	0,06	158,58
Papel archivo	8,7	0,09	92,64
Papel periódico	4,55	0,07	126,26
<i>Total papel</i>	13,25	0,16	
<i>Total (kg/día)</i>	58,91	1,22	

Como resultado de estas pruebas, se determinó que cada recuperador viene recuperando casi 60 kg/día de materiales y manipula en promedio 1.22 metros cúbicos en su carretilla o instrumento de trabajo.

Las densidades reales obtenidas en las pruebas experimentales fueron incorporarlas a los nuevos cálculos de volúmenes mínimos requeridos para cada grupo de materiales.

Adicional al cálculo de los volúmenes por el método experimental, se estimó un segundo volumen con base en las medidas de largo, ancho y altura del material ocupado en la carretilla convencional, como se muestra figura 5.



Fig 5. Mediciones en la carga

A través de este procedimiento se determinó que los volúmenes manipulados de materiales varían entre 0.24 y 4.6 metros cúbicos, un promedio total equivale a 1.61 metros cúbicos lo cual no distaba mucho de los resultados obtenidos en la prueba experimental de calibración de los cajones por el método de la densidad (1.22 metros cúbicos).

Teniendo en cuenta el análisis anterior, se decidió que el volumen mínimo requerido para el vehículo debía estar entre  $1.22\text{m}^3$  y  $1.61\text{m}^3$ . Una limitante encontrada fue la medida del ancho del vehículo, la cual no debía sobrepasar el ancho normal del acceso a un centro de acopio, para no obstaculizar la movilidad vehicular. No obstante, para trabajar con un rango de seguridad mayor, decidió trabajarse con un volumen de  $1.61\text{m}^3$ .

Acorde con todos los parámetros establecidos, la construcción proyectada del prototipo, debió contar con las siguientes características iniciales:

- El tipo de vehículo debe ser manual y operado mediante tracción humana.
- Debe estar preparado para resistir el trabajo para un promedio de 6 días por semana durante 8,2 horas diarias como mínimo.
- Debe tener capacidad para transportar un total de 70 kg de material reciclado en un volumen de  $1.61\text{m}^3$ .
- Debe tener cuatro compartimientos para diversos tipos de materiales.
- Debe ser concebido para ser manejado en pendientes planas preferiblemente.
- Debe ser seguro y de fácil maniobrabilidad.

### 3.2 Los criterios

**Forma del Vehículo.** Con las características iniciales definidos con base en los parámetros establecidos y la revisión de fuentes secundarias, el grupo de expertos ideó diversas alternativas de vehículos como la mostrada en la figura 6. Como esta imagen se propusieron otras 3 alternativas de vehículos diferentes

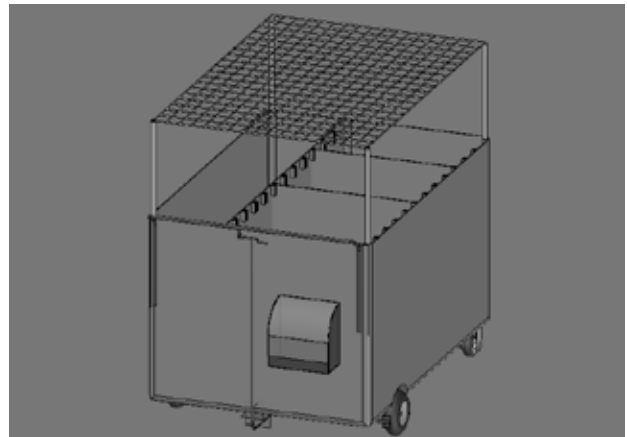


Fig. 6 Alternativa de vehículo propuesto por el equipo de expertos

Con el fin de facilitar la decisión sobre la mejor alternativa de vehículo, se hizo uso del "Método Delfi" el cual, según Landeta, 2002 busca la utilización sistemática de un juicio intuitivo de un grupo de expertos, que para el caso de la carretilla fueron seis. Este método procede mediante la interrogación a los expertos con la ayuda de cuestionarios sucesivos o características y atributos previamente definidos, con el fin de poner en

evidencia las convergencias de opiniones y de obtener eventuales consensos.

Con base en las propuestas se procedió individualmente a desarrollar los siguientes pasos:

- Definir las ventajas y desventajas de cada una, sin generar discusión grupal.
- Unificar los esquemas como actividad grupal.
- Definir las características básicas que deben distinguir del vehículo, que para el caso fueron 8 a saber: seguridad, Corrosión, oxidación, organización de materiales, facilidad en la construcción, costo, flexibilidad en el uso final y estética.
- Valoración: Consistió en la calificación de cada una de las características utilizando una escala de 0 a 5 para cada una de las alternativas planteadas, siendo 5 la mejor y la que más ventajas presente con respecto a cada atributo y cero la más desfavorable.
- Factor de peso: El factor de peso considerado fue la importancia de cada característica, este se estableció utilizando una escala de 0 a 1, siendo 1 el de mayor importancia. Para cada característica se estableció una valoración individual y luego se llegó a consenso de grupo promediando los valores individuales.

**Tipo de material.** Con el fin de facilitar la decisión sobre el tipo de material a utilizar, se hizo uso de nuevo del Método Delfi. Para ello se definieron 4 tipos de materiales, madera, acero, acrílico y fibra de vidrio. El desarrollo del método estableció cuatro (4) características para cada material propuesto, cada una de ellas con sus respectivos atributos: seguridad (física, química y pública, entre otras), resistencia y flexibilidad, economía y estética.

De acuerdo con el desarrollo del método, se concluyó que desde el punto de vista de los atributos definidos para los materiales, la mejor alternativa era la fibra de vidrio, seguidamente, la madera. Por esta razón se decidió que el primero era el material más apto para el prototipo, por poseer además los siguientes beneficios:

- Soporta altas temperaturas e impactos
- La resistencia es de 200 kg/ cm<sup>2</sup> el laminado de menor resistencia, inerte ante ácidos.
- Es un material moldeable con mínimos recursos
- Es ligera, práctica y durable.

**Construcción del Prototipo.** Para elegir las especificaciones del tipo de material seleccionado, se consultó con las empresas locales y se encontró que la más recomendada era la fibra de vidrio MAT 450 con la cual se construyó el vehículo como una sola pieza ensamblándole posteriormente los restantes componentes. Este procedimiento lo realizó la empresa SOLUFIBRAS S.A. la cual se especializa en la construcción de elementos en fibra de vidrio.

Para contrarrestar el impacto de desgaste de la fibra por los pernos, se decidió insertar láminas de acero dentro de la fibra de vidrio en los sitios donde se debían anclar elementos como las llantas y manubrios.

**Sistema de rodamiento.** Para la elección de las llantas, se contemplaron dos opciones como las más aptas: llantas neumáticas y ruedas antipinchazos, considerándose que si el objetivo fundamental era mejorar el desempeño del recuperador, el tipo de llanta elegida no debería requerir aire; favoreciendo la disminución de las vibraciones y sacrificando la parte económica se seleccionan ruedas antipinchazos con las siguientes características:

Diámetro: 8 pulgadas

Altura con soporte: 9 ½ pulgadas

Material: Rin de polipropileno de alto impacto.

Bandas de poliuretano blando

- Dos llantas giratorias para la parte delantera del vehículo marca IMSA referencia 8PB 45 A, con rin en Polipropileno, bandas en Poliuretano y rodamientos.
- Dos llantas fijas para la parte trasera, referencia 8PB 45 A, con rin en Polipropileno y bandas en Poliuretano y rodamientos. Ver figura 7

**Sistema de Frenos.** Se decidió implementar el freno tipo Ciclobicy (de bicicleta), el cual ofreció una solución útil para el diseño dado que presenta un sistema de autobloqueo necesario en el desarrollo de la recolección debido a las pendientes que presentan las vías de la ciudad de Medellín.

**Mecanismos de empuje y halado del vehículo.**

Teniendo en cuenta los criterios anteriores, se consideró que el vehículo debería contar con dos (2) dispositivos, uno que le permita para empujar y otro para halar en los momentos que la carga fuera tal que le impidiera la visibilidad hacia delante. Para



ello se seleccionaron dos maniguetas en tubería de acero 1020 de 7/8" con manillar de caucho de bicicleta "todo terreno".

**Imagen artística.** Para el diseño artístico concebido para el vehículo se consideraron las siguientes características:

- Atractivo y llamativo
- Colores vivos
- Que incluyera mensajes ecológicos o que contribuyan a sensibilizar la comunidad a separar los residuos en la fuente y entregarlos al reciclador.
- Con un logo o imagen distintiva.

Las medidas estimadas acorde con las dimensiones del prototipo fueron: Laterales 128x72 cm, delantero 97x30 cm y trasero 68x21 cm.

#### 4. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DE LAS PIEZAS

**Cajón.** La pieza principal de este proyecto es el cajón en el que se introducen los elementos para el reciclaje. Como se explicó anteriormente, el material del cajón es de fibra de vidrio MAT 450 de 4mm de espesor, la cual tiene como características principales una resistencia última de 3100 MPa, sin tener límite elástico.

Este cajón fue analizado de diferentes maneras utilizando siempre un peso de 150 kg. Para este análisis se utilizó el método de elementos finitos mediante el software Cosmos de SolidWorks el cual según Kuang Hua, 2009 es una excelente herramienta para determinar los esfuerzos actuantes en piezas de geometrías no regulares como también la deflexión que tendrán.

Peso distribuido en toda la cara inferior (piso del cajón): El esfuerzo máximo al que está sometido el cajón es de 43.5 MPa, siendo muy inferior al esfuerzo último que resiste la fibra de vidrio (3100 MPa)

Desplazamiento: El desplazamiento máximo que sufrirá el cajón es de 2.77 mm. Para su estimación se procedió a analizar el factor de seguridad del mismo para una vida infinita, arrojando un resultado de 3.10 superando el 1.20 recomendado por Beer, Johnston's and Dewolf, 2009.

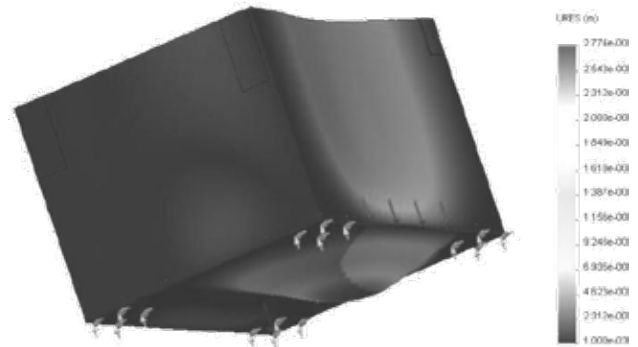


Fig. 7. Desplazamiento máximo del cajón analizado mediante elementos finitos.

La simulación del desplazamiento para un caso extremo, se analizó con la carga total de 150 kg en una pendiente de 35°, tomando como referencia a Russell C, Hibbeler, 2007, con lo cual se logró elaborar un diagrama de fuerzas para el vehículo en equilibrio. Estas fuerzas se dividieron en la cara inferior y en el punto de apoyo del as o parte trasera del vehículo (ver figura 8).

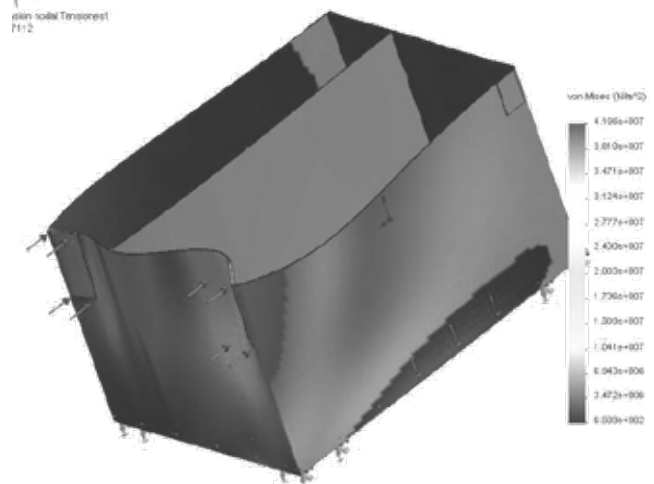


Fig. 8. Esfuerzos máximos del cajón en una pendiente de 35°.

Los resultados arrojados fueron:

- Esfuerzo máximo de 41.66 MPa
- Desplazamiento máximo de 6.24mm
- Factor de seguridad para vida infinita: 2.96

Para todos los casos anteriores, se pudo asegurar que el cajón no fallará con una carga de 150 kg, teniendo en cuenta el requerimiento de resistencia de carga de 70 kg, siendo esta última inferior a la analizada. Este elemento se evaluó con la carga ya

mencionada, dado que éste es el peso máximo recuperado por los recicladores.

**Ruedas.** Las ruedas son comerciales y según catálogo de la del fabricante resisten un peso de 100 kg cada una. De esta forma, el peso máximo que podría cargar el carro sin que estas se dañen es de 400 kg. La gran ventaja que presentan es su sistema antipinchazos, lo cual significa mayor rendimiento en la labor del reciclador.

## 5. CARACTERÍSTICAS FINALES DEL VEHÍCULO

El prototipo final construido se relaciona en la figura 9.



Fig. 9. Prototipo maniobrado por recicladores

Las características principales fueron:

- Forma: Rectangular de dimensiones largo: 160 cm, ancho: 90 cm, altura: 90 cm.
- Material: 100% resina de Poliéster Ortoftalica Ref. 30805 reforzado en fibra de vidrio PRFV refuerzo tipo MAT de 450 gr/m<sup>2</sup>.
- Espesor del cajón: Vitelmat de 4mm según normas ICONTEC 2883 ASTM c582-87.
- Acabado exterior (Top Coat): Pintura con estabilizadores de rayos UV para uso a la intemperie de fondo y paredes planas.
- Accesorios Ranuras para colocar las divisiones de los compartimientos y un portalonchera o caja para guardado de objetos personales
- Peso del cajón: 130 kg.
- Volumen mínimo de 1.60 m<sup>3</sup>.
- Dos asas de conducción, delantera y trasera.

- Número de compartimientos: cuatro (4), uno fijo y tres regulables. En cada compartimiento van materiales afines.

## 6. ACEPTABILIDAD, AJUSTES Y COSTOS

La evaluación del prototipo construido, se realizó a través de pruebas en campo con los mismos recuperadores informales y de un proceso de consulta sobre la aceptabilidad y funcionalidad del mismo. Como producto de esta actividad valuación se realizaron algunos ajustes de tipo técnico-operativo con miras a obtener un prototipo más ajustado a las condiciones reales de trabajo de esta población.

Los resultados de las pruebas de campo realizadas al prototipo con el fin de evaluar su funcionalidad y resistencia final, mostraron que las cantidades de materiales recuperados oscilaban entre 37 kg y 158 kg de residuos reciclables sin generar daños o deformaciones en el contenedor.

Así mismo, puede decirse que el prototipo satisfizo las condiciones promedio de capacidad y peso, dado que el promedio obtenido por recuperador (65,6 kg/día) estuvo ligeramente por encima del esperado (58,9 kg/día como promedio estimado en las pruebas iniciales durante el diseño). De otro lado, el volumen obtenido por recuperador alcanzó 1,51m<sup>3</sup>, valor levemente por debajo de la capacidad del vehículo (1,6m<sup>3</sup>).

Siguiendo las recomendaciones emanadas por los recuperadores en las pruebas de campo se decidió realizar los siguientes cambios físicos a la estructura:

- Eliminar los separadores de materiales quedando así un sólo cajón para guardar el material.
- Instalar un freno delantero independiente del freno trasero.
- Modificar un costado del vehículo recortando una pared e instalando dos puertas para un ingreso y descargue de material sin dificultad.
- Modificar el asa delantera de tal manera que quedara de un ancho aproximado de 55cm. con curvatura hacia el piso.

Con base en lo anterior, el modelo final quedó con las siguientes características:

- Vehículo para ser operado preferiblemente en vías planas o de baja pendiente
- Forma: Rectangular de dimensiones, Largo: 160 cm, Ancho: 90 cm, Altura: 90 cm.
- Material: 100% resina de Poliestrer Ortoftalica Ref. 30805 reforzado en fibra de vidrio PRFV refuerzo tipo MAT de 450 gr/m<sup>2</sup>.
- Espesor del cajón: Vitelmat de 5mm según normas ICONTEC 2883 ASTM c582-87.
- Peso total del vehículo: 118,5 kg.
- Acabado exterior (Top Coat): Pintura con estabilizadores de rayos UV para uso a la intemperie de fondo y paredes planas
- Compartimientos o porta lonchera para guardado de objetos personales
- Volumen mínimo de 1.60 m<sup>3</sup> .(1.6m\*1.1m\*)
- Dos asas de conducción: delantera y trasera.
- Fondo con seis agujeros para desagüe
- Puerta lateral para la descarga del material.
- Sistema de frenos delantero y trasero independientes.
- Tornillos laterales para amarre de la carga cuando esta sobrepase la capacidad del vehículo
- Cuatro llantas antipinchazos de 8" con rodamientos, dos con giro y 2 fijas.
- En la figura 10 se puede observar el vehículo final obtenido.

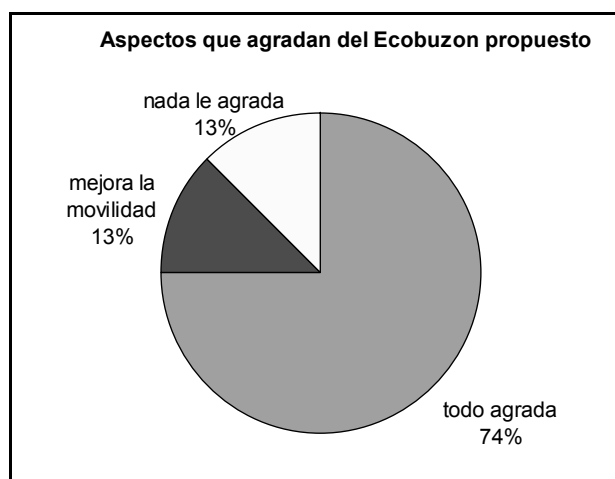
El costo final de construcción y ensamble del prototipo se acerca a los US\$1666, no obstante, es menester considerar que para disminuir dichos costos y permitir una producción futura a nivel comercial, se propone reducir el espesor de las paredes a 3mm, beneficiándose al mismo tiempo el peso y la maniobrabilidad del mismo, esto significaría menos esfuerzos para el recuperador en vías con mayor pendiente, sacrificando un poco su resistencia. En este sentido, la manufactura de este vehículo de 3mm. de espesor, utilizando 100% resina 805 de Andercol y con Fibras de vidrio de refuerzo tipo Matt 723B de 450 gr/m<sup>2</sup>, según normas ICONTEC 2888, ASTM C 582-87 con acabado exterior (Top Coat), pintado en poliéster con estabilizadores de rayos ultravioleta, para ser usado a la intemperie, puede disminuirse en un 40% para una producción inicial de más de 20 unidades, lo cual significa que el costo de construcción ascendería a casi US\$999.



Fig. 10. Prototipo final obtenido después de las pruebas con recicladores y ajustes posteriores.

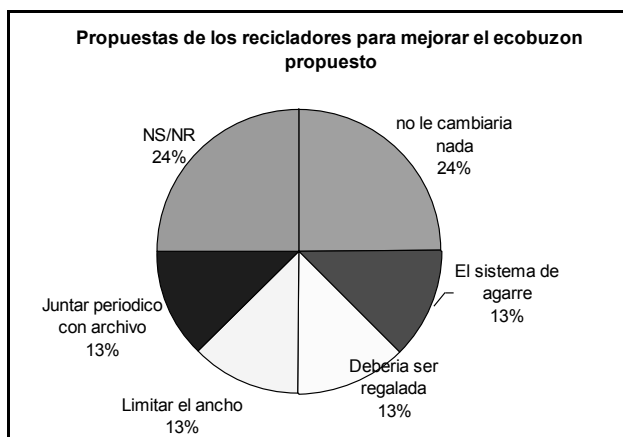
Los resultados obtenidos en este proceso de consulta con los recicladores sobre la aceptabilidad del prototipo se relacionan las gráficas 2 y 3.

Los resultados arrojados durante el proceso de consulta a los recicladores a cerca de la aceptabilidad del prototipo, muestran que al 74% de la poblacin les agradó la totalidad del vehículo, al 13% les desagrada y otro tanto considera que mejora la movilidad, ver gráfico 2.



Gráfica 2. Percepción de los recuperadores a cerca del prototipo.

Se espera que este prototipo sea acogido por las instituciones de la ciudad para su mejoramiento y optimización, reproducción y comercialización, en beneficio de la población recicladora.



Gráf 3. Propuestas de los recicladores para mejorar el prototipo

Es menester señalar que este vehículo debe ser concebido como un modelo al que se llega en la fase de investigación experimental, que como tal no es todavía un producto final ni el que se comercializa, dado que como primer ejemplar aún puede requerir ajustes, modificaciones y mejoras. Por esta razón, se propone que sea estudiado sometido a estudios futuros que conduzcan a su promoción y divulgación en la ciudad.

## 7. CONCLUSIONES Y APORTES

El proyecto descrito en este artículo responde a la apremiante necesidad de innovación y creatividad para el desarrollo social de muchas regiones del mundo, especialmente de aquellas en que las crisis económicas han llevado a un aumento de la economía informal y de rebusque, como medio para la supervivencia, como es el caso del reciclaje informal. En este sentido, el hecho de crear un prototipo de vehículo para el beneficio del reciclador, como una primera aproximación a una práctica innovadora y solución creativa, contribuye al desarrollo económico y bienestar social de dichas poblaciones y aporta a la sostenibilidad de la ciudad. Resulta importante reconocer que investigaciones como esta deben evolucionar hacia etapas posteriores de desarrollo que impacten las políticas públicas en coherencia con las necesidades de actores sociales vulnerables.

Como todo "prototipo", el vehículo construido debe ser concebido como un producto al que se llega en la fase de investigación experimental, pero no todavía como definitivo ni comercializable, dado

que como primer ejemplar o modelo aún requiere ajustes y mejoras. El prototipo, como tal, debe evolucionar a través de etapas futuras de investigación y desarrollo que lo perfeccionen, viabilicen, promocionen y divulguen en el medio, para lo cual se requiere de la atención y apoyo de organizaciones públicas y privadas de la ciudad, como contribución crecimiento y el bienestar de la población recicladora.

En relación con el peso transportado por el prototipo durante las pruebas en campo, se manejaron cantidades que varían entre 37 kg y 158 kg de residuos reciclables sin generar alguna novedad o deformación en el contenedor.

Puede decirse que el prototipo obtenido satisface las condiciones promedio esperadas acorde con el desarrollo de la fase de diseño del mismo y las condiciones de manejo del instrumento por parte de la población recicladora en la ciudad.

Las sugerencias de modificación final del vehículo manifestadas por los recicladores durante las pruebas en campo, coinciden con las recomendaciones que emanó el equipo de expertos al realizar dichas pruebas de campo. Las cuales se resumen en mejoras al sistema para generar mayor confort y maniobrabilidad en las vías de la ciudad. La aceptación en general del prototipo de parte de los recicladores fue buena.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Politécnico Jaime Isaza quien financió el proyecto, a la Universidad de Antioquia quien en convenio con el Politécnico JIC fueron ejecutores del mismo, a firma asesora Indisa S.A, a la administración del municipio de Medellín y a los recicladores del centro de acopio de materiales recuperados Número 2.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Secretaria del Medio Ambiente municipio de Medellín, Universidad de Antioquia y otros. Censo de recuperadores de Medellín. Medellín, agosto de 2005.
- [2] Yepes, P. Fortalecimiento de las condiciones laborales y de productividad del Reciclaje Informal

en Medellín, Politécnico Jaime Isaza Cadavid, 2007.

[3] Gómez Correa, Jaime y Sarmiento G, Juan. Condiciones Socioeconómicas y de Salud de los Recuperadores Informales del Sector de Guayaquil y de sus Familias, Medellín, 2003. Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia - Vol. 15 N° 2.

[4] Mott Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4ª edición. Pearson educación, 944 p. México, 2006

[5] Yepes P, Dora luz. Alternativas para el fortalecimiento del reciclaje informal en Medellín. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 2005.

[6] Landeta R, Jon. El Método Delphi. Ariel, 223p. Barcelona, 2002.

[7] Kuang Hua Chang. Motion Simulation and Mechanism design with SolidWorks Motion. 134p. 2009.

[8] Beer, Johnston's and Dewolf. Fifth ed. Mechanics of Materials, 2009.

[9] Russell C, Hibbeler. Mechanics of Materials. 7 ed, 2007.