

# Los materiales en el automóvil. Estado actual de su reciclado

**E**l progresivo agotamiento de las capacidades de los vertederos a corto-medio plazo, el aumento previsto del coste de los mismos, la baja cotización de los materiales de recuperación, la contaminación ambiental de los desguaces de automóviles actuales y la futura legislación sobre el tratamiento de los vehículos fuera de uso han obligado a un replanteamiento del ciclo de vida del automóvil con proyectos para mejorar o sustituir los canales de recuperación/eliminación vigentes.

El presente artículo es un repaso de la composición material de los automóviles y su evolución a través de los últimos años, así como un resumen de los diferentes procesos de reciclado existentes para los materiales constituyentes.

**Por A. Ferrari y P. Pagés**  
Dpto. de Ciencia de Materiales  
e Ingeniería Metalúrgica.  
Universidad Politécnica de  
Cataluña  
(Artículo aparecido en la revista  
THEKNOS, nº 141,  
Sept-Oct. '94)



**E**l principal problema se genera en la última etapa del proceso donde los residuos procedentes de la fragmentadora (residuos no metálicos: goma, plásticos, vidrio, fibras textiles, etc.), actualmente depositados en vertederos, van aumentando en peso debido a las tendencias actuales y futuras de la industria automovilística.

De las diferentes fuentes consultadas para definir la composición de materiales del automóvil tipo turismo, se ha tomado como referencia el estudio ARIV (1), que la Comunidad de la Cuenca del Ruhr (Alemania) llevó a cabo en el año 1992.

Los datos de dicho estudio se completan

con los datos proporcionados por Seat para los modelos Seat Ibiza, Toledo y para Volkswagen Golf.

En el presente estudio tomaremos de la Tabla I los porcentajes del peso medio del coche nuevo, referidos a los años de matriculación de los automóviles.

## COMPOSICIÓN DEL VEHÍCULO USADO

El vehículo usado ha perdido parte de sus líquidos, en especial combustible, res-

pecto al vehículo nuevo, que se considera tiene llenos sus depósitos de fluidos. (Tabla II).

Los pesos totales representan el peso medio de todos los vehículos matriculados en el Estado Español en los años correspondientes. Los materiales compuestos se

siendo también casi totalmente recuperado.

Se emplea plomo básicamente en la batería (siendo esta pieza ya recuperada sistemáticamente) y el resto, aunque cada vez menos, se utiliza en la protección de chapa de hierro.

**Tabla I - Composición del vehículo nuevo matriculado en el año de referencia (% referidos al peso nuevo) en el Estado Español**

Año %	Metal %	Plástico %	Goma %	Vidrio %	Líquidos %	Vario %	P.V. Nuev. Kg
1978	79,5	4,9	3,8	2,3	7,0	2,5	869
1983	76,0	7,1	3,8	2,9	7,2	3,0	866
1988	72,8	9,4	3,9	3,4	7,4	3,1	902
1991	71,8	9,9	4,1	3,5	7,4	3,3	961
1995	69,3	11,7	4,2	3,7	7,4	3,7	985

**Tabla II - Composición del vehículo usado matriculado en el año de referencia (% referidos al peso del vehículo usado) en el Estado Español**

Año %	Metal %	Plástico %	Goma %	Vidrio %	Líquidos %	Vario %	P.Vrh. Kg
1978	83,2	5,1	4,0	2,4	2,9	2,4	830
1983	79,7	7,4	4,0	3,0	3	2,9	826
1988	76,2	9,8	4,1	3,6	3	3,3	862
1991	75,1	10,4	4,3	3,7	3	3,5	919
1995	72,2	12,2	4,4	3,9	3	4,3	945
2000	70,2	13,2	4,4	4,0	3	4,6	960

incluyen en los plásticos para homogeneizar los datos.

Las proporciones están referidas al peso del vehículo usado. (2).

## Metales

En la actualidad, los metales constituyen aproximadamente el 72% del peso de un automóvil. De esta cantidad un 67% es hierro y acero, de los cuales se recupera por fundición más de un 95% del metal. Las propiedades del material obtenido empeoran debido al contenido de cinc y boro (proveniente del vidrio).

El aluminio se encuentra en un 4,5%

El cadmio se utiliza en los baños de piezas metálicas y una pequeña parte de los componentes de los plásticos como pigmentos y estabilizadores.

El cobre se emplea principalmente en aplicaciones eléctricas, existiendo empresas de recuperación que separan, después del molido, el cobre de PVC con un hidrociclón.

Como tratamiento superficial anticorrosivo del hierro se utiliza cinc. El 90% de estos metales minoritarios son también recuperados por empresas especializadas.

La evolución actual del porcentaje de metales en el automóvil muestra aún una tendencia al descenso, a costa principalmente del consumo de plásticos y materiales compuestos.



**La evolución actual del porcentaje de metales en el automóvil muestra aún una tendencia al descenso, a costa principalmente del consumo de plásticos y materiales compuestos.**

## Metales nobles

Un grupo de reciente aparición es el de los metales preciosos (paladio, rodio, cerio



y platino) integrados en los catalizadores. Estos materiales tienen la ventaja de estar contenidos en una parte muy localizada, lo que facilita su selección. Su interés se centra en su escasez. Un kilo de platino cuesta aproximadamente tres millones de pesetas, conteniendo cada catalizador entre 1,5 y 2 gramos. El rodio supera los 6 millones de pesetas el kilo.

### Plásticos

Constituyen la parte más importante de la fracción ligera que se desecha en las fragmentadoras, debido a que actualmente no se desmontan los componentes de este material en los desguaces.

Este hecho conlleva muchos inconvenientes para su reciclaje, debido a dificultades de identificación, complejidad de composición y costes económicos de logística y procesos de reciclado.

### Fluidos

Descripción de productos:

- Combustible: gasolina normal, super, sin plomo o gasóleo.
- Aceite motor: de base mineral o sintética.
- Aceite de cambio: se diferencia del anterior en la viscosidad y en la aditivación.

**Los plásticos plantean muchos inconvenientes para su reciclaje, debido a dificultades de identificación, complejidad de composición y costes económicos de logística y procesos de reciclado.**

- Líquidos amortiguadores: son aceites minerales.
- Líquido refrigerante: mezclas etilenglicol/agua (50%).
- Refrigerante aire acondicionado: R-12, que contiene CFC. Este producto está siendo sustituido por alguno de los fluidos aceptados por el Protocolo de Montreal.
- Líquido limpiaparabrisas: mezclas isopropanol o etanol/agua (hasta el 70% de alcohol).
- Electrolito batería: ácido sulfúrico/agua (37% ácido).
- Líquido frenos: mezcla el componente principal metiltriglicol (trietilenglicolmonometil-éter/MTG).
- Líquido servodirección: constituido por aceites minerales.

La composición de los líquidos del vehículo usado, es prácticamente la misma que la del vehículo nuevo, excepto para el combustible que llega casi en reserva.

### Gomas

El 80% del caucho en el automóvil se encuentra en las cubiertas de las ruedas. El contenido en gomas del vehículo representa aproximadamente el 4% en peso.

### Vidrios

- Vidrio templado y laminado:
  - Lunetas y ventanas
  - Faros delanteros
- Lana de vidrio:
  - Insonorizantes
  - Aislantes térmicos
  - Soportes techo



Tabla III - Jerarquía en la conservación de recursos

### JERARQUÍA DE PROCEDIMIENTO DE APROVECHAMIENTO/RECICLAJE DE RESIDUOS

1. Producto de larga duración
2. Reutilización de partes usadas
3. Reciclaje de materiales para el uso original
4. Reciclaje para obtener materiales de inferior calidad
5. Reciclaje térmico
6. Deposición en vertedero de residuos sólidos urbanos
7. Deposición en vertedero de residuos especiales

El vidrio de las lunetas, ventanas y faros constituye la casi totalidad del contenido de este material en un automóvil, que supone aproximadamente el 3% de su peso.

### EL APROVECHAMIENTO/RECICLADO EN LA ACTUALIDAD

La Tabla III muestra la jerarquía entre los procedimientos de conservación de recursos planteada para todos los países de la

CEE. El principal objetivo consiste en la realización de procesos de alto valor en dicha jerarquía con resultados económicos aceptables.

El campo de desmontaje de piezas/equipos del automóvil para su posterior empleo como recambio, existe en todos los países del mundo, incluyendo los más desarrollados. La labor de desmontaje y venta es llevada a cabo en los típicos parques de desguace en los que cada cual lle-

**E**l campo de desmontaje de piezas/equipos del automóvil para su posterior empleo como recambio, existe en todos los países del mundo, incluyendo los más desarrollados.

va a cabo las operaciones de desmontaje a su mejor saber y entender. Se puede concluir que hoy en día no existe una tecnología desarrollada para llevar a cabo

las operaciones de desmontaje de los elementos de un vehículo fuera de uso.

Las primeras experiencias, con vistas a alcanzar dicha tecnología, se están llevando a cabo actualmente en plantas piloto, tales como las de Volkswagen en Leer (Alemania), PSA-Renault en Saint-Pierre Chandieu (Lyon-Francia), Renault-BMW en Athis-Mons (Francia), FIAT en el norte de Italia, etc.

Para el presente estudio se tienen especialmente en cuenta las experiencias presentadas en la planta de Leer (Volkswagen, Alemania).

### TIPOS DE RECICLADO

De entre los materiales del automóvil, los metales, que constituyen aproximadamente el 80 por ciento de su peso, han sido desde siempre aprovechados mediante procesos metalúrgicos volviéndolos a introducir en el ciclo.

La industria para el reciclado de los metales, plantas fragmentadoras y plantas siderúrgicas/metalúrgicas, está perfectamente adaptada para el aprovechamiento de los mismos, de modo que prácticamente todo el hierro (aprox. 71% del peso del coche) y más del 90% de los metales restantes (aprox. 9% del peso del coche) es recuperado sin ninguna pérdida de calidad. Por tanto, no se entrará aquí a tratar estos procesos.

El mayor problema de los residuos del automóvil, desde el punto de vista de su aprovechamiento, lo constituyen los materiales plásticos, los cuales constituyen la parte más importante de la fracción ligera de la fragmentadora, que acabará destinada a los vertederos.

Los principales procesos tecnológicos para aprovechar los plásticos, a un nivel superior de conservación de recursos, son los siguientes:

1. Reutilización del material.
2. Reciclado químico (3, 4, 5)
  - Hidrólisis
  - Glicólisis
  - Hidrogenación
  - Pirólisis
  - Gasificación

### 3. Recuperación energética

- Incineración
- Cementeras

Cabe destacar que los procesos de recuperación del material por refusión, hidrólisis y glicólisis se refieren sólo a la recuperación o reciclado de plásticos a partir de mezclas limpias de un mismo tipo de plástico o incluso de diferentes tipos. Esto es debido a que son procesos que se desarrollan en sentido inverso al inicial: formación de los plásticos.

Los procesos restantes que se describen posteriormente se refieren principalmente a residuos de fragmentadora (mezclas de plásticos y otros tipos de residuos ligeros). Estos procesos se han desarrollado con la finalidad de conseguir el máximo aprovechamiento de las mezclas de plásticos contenidas en los residuos.

## REUTILIZACIÓN DEL MATERIAL POR REFUSIÓN

### Termoplásticos

En el campo de los termoplásticos (60-70% de los plásticos en automoción) es posible la reutilización del material de piezas de automóvil (parachoques, rejilla delantera, tapacubos, etc.) para la producción de otras piezas, mediante los procesos de trituración, refusión por extrusión y moldeo, que no requieren el mismo grado de exigencia técnica que la pieza de partida.

No es factible obtener la pieza original, sin la adición al regenerado de estabilizadores, compatibilizadores o material virgen, debido a que se producen defectos de superficie y pérdida de propiedades mecánicas en los procesos de refusión y moldeo.

Además, no existe un método eficiente y rentable económicamente de separación a partir de mezclas de diferentes tipos de termoplásticos. Incluso una mezcla de plásticos que posiblemente podría ser separada, contiene un alto porcentaje de sustancias extrañas como materiales poliméricos incompatibles y plásticos termoestables, residuos de pintura, láminas o tejidos, etc.

También en el sector de los poliuretanos es posible el reciclado del material, aunque con ciertas limitaciones, dado que son materiales químicamente reticulados. El empleo más común de los residuos de espuma blanda de poliuretano es como aglomerados de flocas de espuma para protec-

**En el campo de los termoplásticos (60-70% de los plásticos en automoción) es posible la reutilización del material de piezas de automóvil (parachoques, rejilla delantera, tapacubos, etcétera) para la producción de otras piezas.**

ciones de tipo deportivo o de transporte. En cuanto a los residuos de espuma rígida de poliuretano, el proceso de reciclado se encuentra todavía en fase experimental.

El aprovechamiento de la mezcla de plásticos de la fracción ligera de fragmen-

tadora (25-40%) es poco recomendable, debido a que posee un alto nivel de contaminación por aceites, metales, etc.

Las limitaciones en el uso de este método de reprocesado son la restrictiva receptividad del mercado para productos y el bajo precio de los materiales plásticos en bruto.

### Termoestables

Mediante procesos de granulación o moliendo se reduce de una manera notoria el tamaño del material y se introduce en el proceso de fabricación, como refuerzo para el mismo tipo de pieza (junto al porcentaje de material virgen mayoritario) o para productos similares, con nuevas especificaciones de temperatura y presión.

Otras aplicaciones posibles en el mismo sentido pero con el tamaño de las partículas superior, son aglomerados de madera, agregados para hormigón, carga de refuerzo para aislantes asfálticos y pavimentos de carretera, etc.

Al ser las técnicas de reciclado más complejas, se encarece el coste del material reciclado acentuando aún más las limitaciones mencionadas para los termoplásticos.





### RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

#### Incineración

Mientras anteriormente el propósito principal de la incineración era la reducción del volumen de los residuos, en la actualidad el aspecto de recuperación energética se va colocando cada vez más en la vanguardia. Aunque la contribución en un 0,6% al ahorro de fuentes primarias de energía es comparativamente pequeño, sin embargo en áreas urbanas asciende del 4 al 9% de la necesidad total de energía. Por otro lado, debemos considerar que una tonelada de plásticos usados posee aproximadamente el mismo contenido calorífico que una tonelada de carbón (6).

El desecho es generalmente quemado en la chimenea del horno, que normalmente tiene la forma de rodillo cilíndrico. El tiempo de permanencia alcanza aproximadamente 60 minutos y con temperaturas entre 800 y 1200 °C. La escoria, cenizas volátiles y el polvo de la chimenea, que se agrupan en el término general de ceniza, se obtienen como residuos sólidos.

Debido a los valores límites de emisiones a la atmósfera existentes en las legislaciones europeas, todas las incineradoras modernas son equipadas con sistemas de emisión de gases no contaminados en las chimeneas. Los sistemas más eficaces son el cepillo húmedo y el cepillo de agua. Estos sistemas de limpieza doblan los costes de las plantas. Debido a los efectos sobre el medio ambiente de los metales pesados, como el cadmio y el mercurio, merecen una atención especial durante la incineración de desechos. Estos metales no pasan a la escoria sino principalmente a la corriente de gases de escape y desafortunadamente no son separados en colectores de polvo y cepillos.

En estos momentos no hay resultados disponibles sobre si la admisión de fracciones orgánicas de fragmentadora influyen en la emisión de sustancias contaminantes de las plantas incineradoras de desechos.

#### Cementeras

En la producción de cemento se alcanzan temperaturas alrededor de 1.450 °C

por combustión de polvo de carbón en un horno rotatorio tubular. A esta temperatura la escoria, que en forma de capas compone el cemento comercial, se forma a partir crudo por sintetizado. Las altas temperaturas requeridas normalmente implican que la energía sea un factor determinante de los costes. En la búsqueda de alternativas de bajo coste energético, la industria inició hace algunos años el empleo de neumáticos usados y en los inicios de los ochenta residuos orgánicos de fragmentadora.

Aunque sea posible cubrir hasta un 25% de las necesidades caloríficas totales en neumáticos usados, su escasez de disponibilidad condujo a los ensayos de residuos orgánicos de fragmentadora como alternativa energética.

Por lo que se refiere a su aceptabilidad ambiental, la quema de residuos en el horno rotatorio tubular ofrece dos grandes ventajas:

- La totalidad del residuo sólido se convierte en escoria.
- No se obtienen aguas residuales.

No obstante, debido al equipamiento adicional que debe ser instalado para in-

roducir el residuo de fragmentadora y al incremento de gastos de personal (controlando el caudal de material), el balance económico de la planta no puede ser positivo hasta que no se alcance un 11,4% de la necesidad total de calor producida por residuos de trituradora.

En teoría, aproximadamente el 50% de la fracción orgánica de la fragmentadora o fracción basta, puede ser quemada en las cementeras.

### CONSIDERACIONES SOBRE EL RECICLADO DE PLÁSTICOS

Se ha demostrado que los plásticos, debido a sus propiedades favorables, han pasado ya a ser indispensables para la fabricación de piezas en automoción. Sin embargo, el aumento de contenido plástico que puede permitir un ahorro en costes, repercute negativamente en la eliminación final de los automóviles. (7)

Debido al descenso de contenido metálico, las plantas fragmentadoras venden menos material valioso. Al mismo tiempo, el porcentaje y el coste de la fracción orgánica de la fragmentadora para su eliminación están aumentando. Por ello, en el futuro es probable que el propietario de un vehículo deba pagar una tasa de eliminación a la planta de desguace moderna, la cual está aún por definir.

En cuanto al reciclaje de la fracción orgánica de la fragmentadora, es difícil en este momento indicar algunas perspectivas claras. Esto es debido en primer lugar, a la composición de residuos orgánicos de fragmentadora en la que un 50% está constituida por diferentes tipos de material polimérico. La restante está formada por polvo metálico, herrumbre, vidrio y arena.

El amplio uso de los procesos de refusión está siendo perjudicado por el limitado mercado de los productos de material reciclado que se pueden fabricar y del trabajo adicional que supone separar la fracción de plásticos en la fragmentadora.

Recientes estudios indican que la hidrogenación es la más indicada, con respecto a los procesos de pirólisis y gasificación, porque el crudo sintético que proporciona es de gran calidad y puede absorberse sin problemas en las refinerías.



El uso de material de fragmentadora como combustible secundario en fábricas de cemento supone que:

- Los problemas técnicos están solucionados (unidad "Bypass").
- El material de fragmentadora es previamente tratado para la admisión en tamaño adecuado.
- Se deberán aportar incentivos financieros para que la industria del cemento pueda eliminar la fracción de residuos de la fragmentadora.

Estos requisitos no se han cumplido todavía y, a menos que este proceso sea decididamente promocionado, no tendrá una especial relevancia en los próximos años.

A corto plazo el reciclaje de energía a través de residuos de fragmentadora en plantas incineradoras será especialmente prometedor, siempre que se tomen todas las medidas ya comentadas para prevenir las emisiones de sustancias contaminantes.

El uso de plásticos biodegradables para componentes de la industria de la automoción aparte de sus deficientes propiedades

mecánicas, no son todavía capaces de resolver el problema de los residuos de la fragmentadora.

### BIBLIOGRAFÍA

- (1) ARIV - Automóvil Recycling im Verbund. 1992 Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie NRW, Düsseldorf und initiativkreis Runrgebiet, Essen.
- (2) Ferrari A., Proyecto Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales, Terrassa, 1993.
- (3) Menges, G. y otros, Recycling the Plastics Content of Cars: yes but how?, Hanser Publisher, Munich 1988.
- (4) Piechota, H., Producidos, usados ... y luego ¿qué? Fetraplast nº 5, 1er Trimestre 1992, 37.
- (5) Brandrup, J., Demasiado valiosos para tirarlos, Fetraplast nº 5, 1er Trimestre 1992, 28.
- (6) Simposio Internacional sobre reciclado de Polímeros. "El Reciclado, mucho más que una moda", Plast'21, Oct. 1991, 14.
- (7) Pagés P., Andrés A. y Ferrari A., Cicle de Conferències de Medi Ambient, ETSEIT, Terrassa, 1993.