



ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA MEDIOAMBIENTAL DEL RECAUCHUTADO DE NEUMÁTICOS



Castellano



English



Français



ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA MEDIOAMBIENTAL DEL RECAUCHUTADO DE NEUMÁTICOS

Elche, noviembre de 2012

Análisis en profundidad de la eficiencia del proceso de recauchutado de neumáticos

Teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- **Ahorro energético y de materiales** asociado a la fabricación
- **Ahorro de emisiones de CO₂** asociado a la fabricación
- **Ahorro económico** asociado al coste de materiales y energía

0. Justificación

- En la bibliografía se encuentran **valores dispares** en cuanto a:
 - Ahorro energético en la fabricación de neumáticos recauchutados
 - Ahorro de materiales en la fabricación de neumáticos recauchutados
- Los distintos autores **no publican información sobre los estudios** que deberían respaldar la rigurosidad de los valores obtenidos, ni sobre el tipo de neumáticos a los que son aplicables.
- Se han publicado en España diferentes estudios sobre otras estrategias de aprovechamiento de los neumáticos fuera de uso, pero se hecha en falta un análisis sobre los beneficios ambientales derivados del recauchutado.
- Existen artículos publicados sobre cuestiones económicas del recauchutado, pero no específicamente aplicados al mercado español.



0. Justificación

- Objetivos de gestión de los NFU marcados por el PNIR 2008-2015:

OBJETIVOS	Cualitativos	Asegurar la correcta gestión ambiental de los NFU			
		Aplicación del principio de responsabilidad del productor a los responsables de la puesta en el mercado de los neumáticos			
		Determinar objetivos cuantitativos de valorización y reciclaje de NFU			
	Cuantitativos (%)		2008	2012	2015
		Recauchutado	-	15	20
Valorización material		50 (40 del caucho en mezclas bituminosas) Acero: 100	52 (42 del caucho en mezclas bituminosas) Acero: 100	55 (45 del caucho en mezclas bituminosas) Acero: 100	
	VALORIZACION ENERGETICA	30	25	20	

- Evolución del cumplimiento de objetivos:

Datos en %		1998	1999	2000	2001	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Neumáticos usados ELT	Re-uso/ Exportación	1.5	1.9	2.7	2.3	4.5	6.5	4.9	9.9	3.7	2.1	1.9	1.5
	Recauchutado	13.6	10.8	12.9	13.9	13.9	12.4	14.9	12.1	12.5	11.4	9	8.4
	Valorización Material	0.4	1.4	1.5	1.4	7.8	13.9	13.6	13.8	18.6	53.6	45.6	49.2
	Valorización Energét.	3.3	4.5	7.5	6.2	9.9	17.1	16.6	17.0	11.0	32.9	43.1	40.9
	Vertedero	81.2	81.4	75.4	76.2	63.9	50.1	50.0	47.2	54.2	0	0.4	0
	Total %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Nº empresas de gestión ELT	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2

1. Objetivos

- ✓ **Analizar la eficiencia medioambiental** de los neumáticos recauchutados frente a los neumáticos nuevos equivalentes, cuantificando:
 - **Energía consumida en el proceso** de recauchutado y en la recuperación de las carcacas, respecto a la requerida para fabricar los neumáticos nuevos equivalentes.
 - **Materias primas utilizadas** en el proceso de recauchutado, en función del tipo y tamaño de neumático, respecto a las requeridas para fabricar los neumáticos nuevos equivalentes.
 - Las **emisiones de CO₂** producidas durante la fabricación de neumáticos en los diferentes sistemas productivos analizados

- ✓ **Fomentar el uso del recauchutado** mediante la concienciación social:
 - BENEFICIO MEDIOAMBIENTAL
 - CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS LEGALES

- ✓ Aportar información útil para la **optimización** de la eficiencia **medioambiental** y **económica** del tratamiento de los neumáticos al final de su vida útil



2. Metodología

ESQUEMA DE CÁLCULO PARA LOS CONSUMOS DURANTE LA FABRICACIÓN

- **NEUMÁTICOS DE NUEVA FABRICACIÓN.**

$$E_{Tot F} = E_{proceso fabricación} + E_{implicada en las materias primas} \quad (1)$$

$$E_{proc fabricación} = E_{Carcasa} + E_{bandas(R + F + GU)} + E_{textil} + E_{acero} \quad (2)$$

$$E_{materias primas} = \% \text{ de cada material} * \text{Contenido } E \text{ del material} \quad (3)$$

- **NEUMÁTICOS RECAUCHUTADOS.**

$$E_{Tot R} = E_{proceso recauchutado} + E_{constitución materias primas} \quad (4)$$

$$E_{proc recauchutado} = E_{prep} + E_{recauchut} + E_{fab mat} \quad (5)$$

$$E_{constitución mat prim} = \% \text{ de cada material} * \text{Cont } E \text{ del material} \quad (6)$$

UNIDAD DE MEDIDA UTILIZADA: **Litros equivalentes de Petróleo**



2. Metodología

FUENTES DE DATOS

- Composición de los neumáticos y cuantificación de materiales: **bibliografía y empresas** del sector
- Cantidad y tipo de energía consumida en el proceso de fabricación de recauchutado: **empresas** del sector
- Cantidad y tipo de energía consumida en el proceso de fabricación de neumáticos nuevos: **bibliografía**
- Intensidades energéticas de materiales: **bibliografía**
- Emisiones de CO2 asociadas a la producción de materias primas: **bibliografía**.
- Emisiones de CO2 asociadas al uso de cada fuente de energía: **bibliografía**.

EMPRESAS DE RECAUCHUTADO ANALIZADAS: 4 (de 35 en España)

Representatividad del muestreo:

- Turismo: 100 % de la producción nacional
- Vehículos comerciales: 23 % de la producción nacional
(distintos volúmenes y tipologías de producción)



3. Cuantificación de materiales

ESTIMACIÓN DE PESOS DE CADA PARTE DEL NEUMÁTICO

- Neumático tipo de camión 315/80 R22,5:

NEUMATICO NUEVO (315/80 R22,5)		
Carcasa	54,50 Kg	77,9 %
Banda de rodadura	14,00 Kg	20,0 %
Goma de flancos	1,50 Kg	2,1 %
NEUMATICO RECAUCHUTADO (315/80 R22,5)		
Carcasa	54,50 Kg	76,2 %
Banda de rodadura	15,50 Kg	21,7 %
Goma de unión	1,25 Kg	1,7 %
Goma de flancos	0,25 Kg	0,4 %

- Neumático tipo de turismo 195/65 R15:

NEUMATICO NUEVO (195/65 R15)		
Carcasa	4,0 Kg	53,3 %
Banda de rodadura	3,5 Kg	46,7 %
NEUMATICO RECAUCHUTADO (195/65 R15)		
Carcasa	4,0 Kg	44,4 %
Banda de rodadura	3,5 Kg	38,9 %
Goma de flancos	1,5 Kg	16,7 %

3. Cuantificación de materiales

COMPOSICIONES PORCENTUALES

Bibliografía:

COMPONENTES BASICOS DE UN NEUMATICO		
Componente (%)	Automóvil	V. pesado
Elastómero (Natural o sintético)	48	45
Negro de humo	22	22
Acero	15	25
Fibras textiles	5	-
Aditivos (Antioxidante y estabilizantes)	10	8

Información aportada
por expertos del sector:

COMPOSICION PORCENTUAL FORMULACION ESTANDAR	CAMION	TURISMO
FORMULA GOMA PARA BANDA	%	%
CAUCHO NATURAL	10	8,5
SBR	23	22
POLIBUTADIENO (BR)	18	11
CARBON BLACK	30	32
ACEITE PLASTIFICANTE	15	21
Otros	4	5,5
FORMULA GOMA FLANCOS	%	%
CAUCHO NATURAL	25	25
POLIBUTADIENO (BR)	35	35
CARBON BLACK	33	33
ACEITE PLASTIFICANTE	2	2
Otros	5	5
FORMULA GOMA UNION	%	%
CAUCHO NATURAL	70	No se aplica
CARBON BLACK	15	
ACEITE PLASTIFICANTE	4	
Otros	11	



3. Cuantificación de materiales

INTENSIDADES ENERGÉTICAS PARA CADA MATERIAL

(Obtenidas a partir de bibliografía)

Componentes	Contenido E. utilizado en el cálculo más favorable (MJ/kg)	Contenido E. utilizado en el cálculo menos favorable (MJ/kg)
CAUCHO NATURAL	9,3	9,3
SBR	87,2	119,8
POLIBUTADIENO (BR)	55,63 ^d	86,7
CARBON BLACK	99,5	126,8
ACEITE PLASTIFICANTE	42	42
Acero	25,0	27,8
Sílice	0,38	0,38
Textil	43,5	43,5
Otros	49,6	49,6

4. Cálculos energéticos

Consumos energético en el recauchutado (veh. comercial)

Consumo energético asociado a materiales (para el neumático tipo)

	Valores Favorables	Valores desfavorables	Valores medios
Banda de rodadura	30.19 l	39.4 l	34.79 l
Flancos	0.38 l	0.518 l	0.45 l
Goma de unión	0.99 l	1.13 l	1.06 l
Total	31.56 l	41.05 l	36.31 l

Consumo energético en la fabricación (para el neumático tipo)

	Consumo Total	Consumo total
Empresa 1	488,9 MJ/neumático	13,6 l eq petróleo
Empresa 2	83,17 MJ/neumático	2,3 l eq petróleo
Empresa 3	92,2 MJ/neumático	2,6 l eq petróleo
Empresa 4	150,2 MJ/neumático	4,2 l eq petróleo

Valor medio ponderado para la producción en España = **6,55 l**

Consumo Global

$$E_{Tot R} = 36,3 + 6,55 = 42,87 \text{ Litros de petróleo}$$

4. Cálculos energéticos

Consumo energético en el recauchutado (turismo)

Consumo energético asociado a materiales (para el neumático tipo)

	Valores Favorables	Valores desfavorables	Valores medios
Banda de rodadura	6,76 l	8,63 l	7,69 l
Flancos	2,41 l	3,23 l	2,82 l
Total	9,17 l	11,86 l	10,51 l

Consumo energético en la fabricación (para el neumático tipo)

Los valores medios de consumos del proceso, se han calculado en 91,5 MJ/neumático (2,54 L petróleo), considerando los consumos de las diferentes fuentes de energía empleadas por la única empresa fabricante

Consumo Global

$$E_{Tot} = 10,51 + 2,54 = 13,05 \text{ Litros de petróleo}$$

4. Cálculos energéticos

Consumos energético en neumáticos nuevos (veh. comercial)

Consumo energético asociado a materiales (para el neumático tipo)

Valores más favorables de intensidad energética	3356,8 MJ	93,23 L petróleo
Valores menos favorables de intensidad energética	4169,8 MJ	115,73 L petróleo
Valores medios de intensidad energética	3763,3 MJ	104,8 L petróleo

Consumo energético en la fabricación (para el neumático tipo)

E proceso de fabricación	MJ/neumático
Aros y aceros	10,01
Bandas de rodadura, flancos y goma de unión	2,715
Textiles	1083,85
Carcasa	226,00
Total neumático	1322,58
L petróleo/neumático	36,5 L

Consumo Global

L petróleo utilizados en la fabricación de neumático de camión nuevo = 141,5 L



4. Cálculos energéticos

Consumos energético en neumáticos nuevos (turismo)

Consumo energético asociado a materiales (para el neumático tipo)

Valores más favorables de intensidad energética	493,6 MJ	13,7 L petróleo
Valores menos favorables de intensidad energética	626,9 MJ	17,4 L petróleo
Valores medios de intensidad energética	560,3 MJ	15,5 L petróleo

Consumo energético en la fabricación (para el neumático tipo)

E proceso de fabricación (ecuación2)	MJ/neumático
Aros y aceros	2,16
Bandas de rodadura, flancos y goma de unión	0,59
Textiles	235,9
Carcasa	49,01
Total neumático	287,66
L petróleo/neumático	7,98 L

Consumo Global

L petróleo utilizados en la fabricación de neumático de turismo nuevo = **23,5 L**



4. Cálculos energéticos

Análisis de resultados

- **Neumático tipo de camión:**

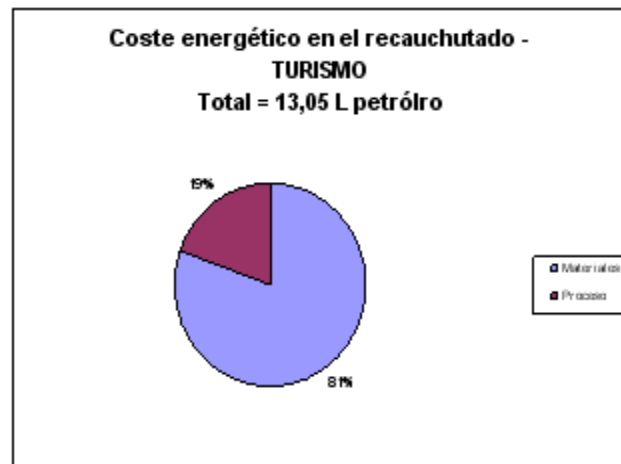
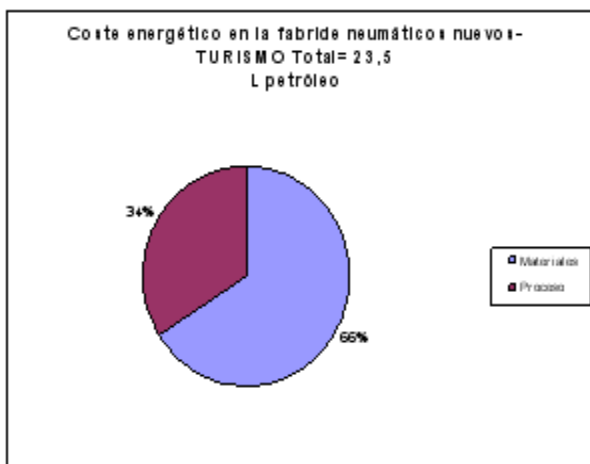
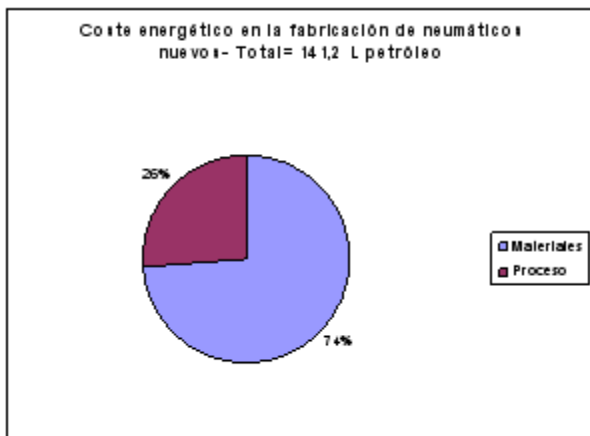
CAMIÓN	NUEVO	RECAUCHUTADO	AHORRO
Materiales	104,46	36,32	65,2%
Proceso	36,69	6,55	82,1%
Total	141,2	42,87	69,6%

- **Neumático tipo de turismo:**

TURISMO	NUEVO	RECAUCHUTADO	AHORRO
Materiales	15,52	10,52	32,2%
Proceso	7,98	2,53	68,3%
Total	23,5	13,05	44,5%

4. Cálculos energéticos

Análisis de resultados



5. Cálculos de emisiones de CO₂

(Esquema de cálculo análogo al seguido en los cálculos energéticos)

- Factores de emisión de los materiales:

Material	Emisiones (kg CO ₂ /kg material)
Caucho natural	0,4
Caucho sintético	5,0
Carbon Black	5,7
Otros aditivos	8,2
Textiles	2,1
Acero	3,2

- Factores de emisión de las fuentes de energía empleadas en los procesos:

COMBUSTIBLE	FACTOR DE CONVERSION	FACTOR DE EMISION
Gas natural (m ³)	10,70 kWh/Nm ³ de gas natural=13,75 kWh/kg	2,15 kg CO ₂ /Nm ³ de gas natural= 2,76 kg CO ₂ /kg Gas N
Gas butano (kg) Gas butano (nº bombonas)	12,44 kWh/kg de gas butano	2,96 kg CO ₂ /kg de gas butano 37,06 kg CO ₂ /bombona (de 12,5kg)
Gas propano (kg) Gas propano (nº bombonas)	12,83 kWh/kg de gas propano	2,94 kg CO ₂ /kg de gas propano 102,84 kg CO ₂ /bombona (de 35 kg)
Gasoil (litros)	11,78 kWh/kg de gasoil	2,79 kg CO ₂ /l de gasoil= 3,28 kg CO ₂ /kg gasoil
Fuel (kg)	11,16 kWh/kg de fuel	3,05 kg CO ₂ /kg de fuel



5. Cálculos de emisiones de CO₂

Emisiones en el recauchutado (veh. comercial)

- Emisiones asociadas a materiales=
88,2 kg CO₂/neumático

Banda	NR	0,6288	kgCO ₂ /Banda = 84,23
	SBR	18,078	
	BR	14,148	
	Carbon Black	26,8812	
	Plastificante	19,3356	
	Otros	5,15616	
Flancos	NR	0,024	kgCO ₂ /Flancos =1,0332
	SBR	0	
	BR	0,42	
	Carbon Black	0,45144	
	Plastificante	0,03936	
	Otros	0,0984	
Goma Unión	NR	0,35	kgCO ₂ MJ/Unión= 2,95625
	SBR	0	
	BR	0	
	Carbon Black	1,06875	
	Plastificante	0,41	
	Otros	1,1275	

- Emisiones durante la fabricación:

* EMPRESA 1: 40,72 kg CO ₂ /neumático		
* EMPRESA 2: 6,00 kg CO ₂ /neumático		
* EMPRESA 3: 7,09 kg CO ₂ /neumático		
* EMPRESA 4: 6,08 kg CO ₂ /neumático		
Media ponderada España camión recauchutado	16,26	kgCO ₂ /neum

- Emisiones globales: 88,26 + 16,26 = 104,5 kg CO₂/neumático



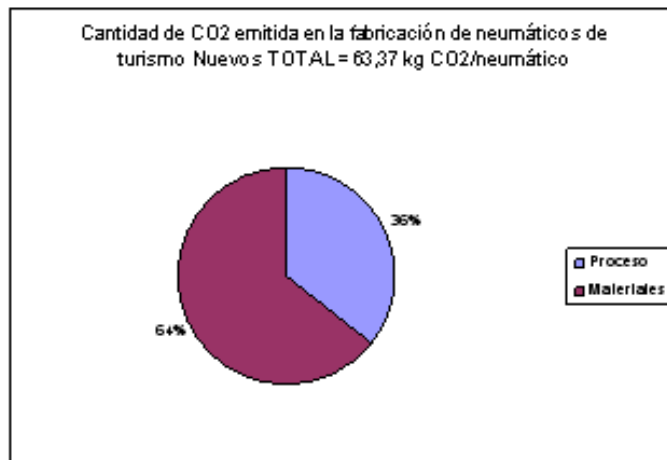
5. Cálculos de emisiones de CO₂

Análisis de resultados

	Neumáticos nuevos		Neumáticos recauchutados	
	Comerciales	Turismos	Comerciales	Turismos
Proceso	104,9	22,75	16,26	5,37
Materiales	233,89	40,89	88,21	25,21
Total	338,8	63,64	104,5	30,58
Ahorro	Comercial= 69.1% emisiones		Turismo= 51,9 % de emisiones	

5. Cálculos de emisiones de CO₂

Análisis de resultados



6. Cálculo del ahorro económico

- Se consideran EXCLUSIVAMENTE los costes de energía y materias primas, y se sigue un esquema de cálculo análogo al seguido en los cálculos energéticos
- Precios medios de los componentes mayoritarios:

Componente	€/kg
Caucho Natural	2,95
SBR	2,85
BR	2,85
<u>Carbon Black</u>	1,25
Plastificante	0,9
Acero	0,7
Sílice	0,28
Textil	2,5
Para "otros"	1,785

- Precio medio de los recursos energéticos utilizados:
 - Gas natural: 0.0385 €/kWh
 - Electricidad: 0.1082 € /kWh
 - Fuel-2 : 0.65 € /kg

6. Cálculo del ahorro económico

Costes de producción para neumáticos recauchutados de camión

Materias primas:

Comercial recauchutado		€/kg material	
Banda	NR	4,6374	€/Banda = 32,145828
	SBR	10,30446	
	BR	8,06436	
	Carbon Black	5,895	
	Plastificante	2,1222	
	Otros	1,122408	
Flancos	NR	0,177	€/Flancos = 0,54114
	SBR	0	
	BR	0,2394	
	Carbon Black	0,099	
	Plastificante	0,00432	
	Otros	0,02142	
Goma de Unión	NR	2,58125	€/G. Unión= 3,1061
	SBR	0	
	BR	0	
	Carbon Black	0,234375	
	Plastificante	0,045	
	Otros	0,2454375	

Costes totales

€ recauch MAT=	35,79
€ recauch Proceso=	3,9
€ Total Recauch=	39,69

Energía aportado en
el proceso productivo:

Costes productivos de recauchutado CAMIÓN	
Empresa 1	8,5 €/neumático
Empresa 2	1,95 €/neumático
Empresa 3	2,43 €/neumático
Empresa 4	2,09 €/neumático



6. Cálculo del ahorro económico

Costes de producción para neumáticos recauchutados de turismo

€ recauch MAT=	9,96
€ recauch Proceso=	1,026
€ Total Recauch=	10,98

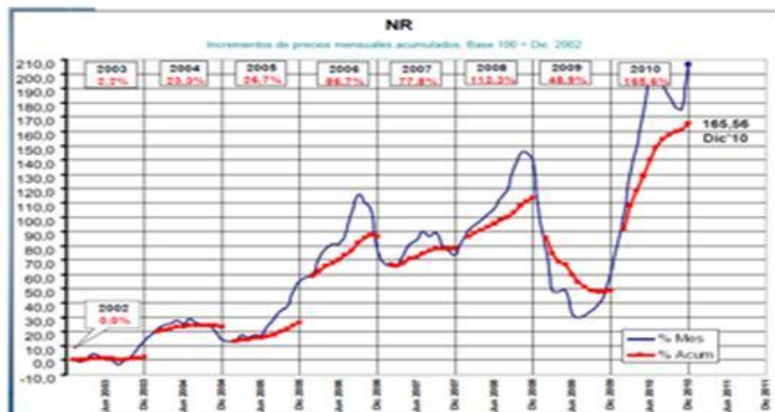
Costes de producción para neumáticos nuevos de camión

€ petróleo nuevo MAT=	139,03
€ nuevo Proceso=	18,46
€ Total Nuevos=	157,5

Costes de producción para neumáticos nuevos de turismo

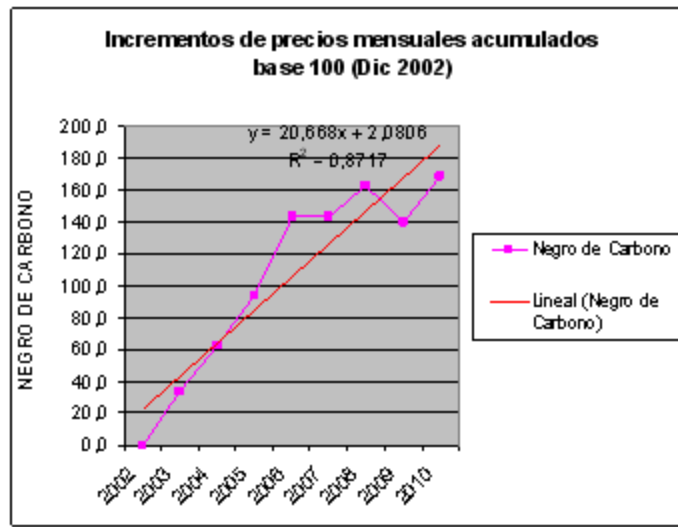
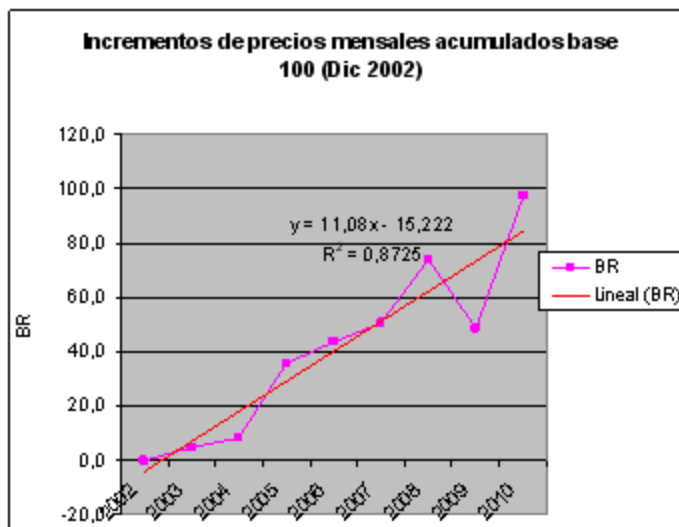
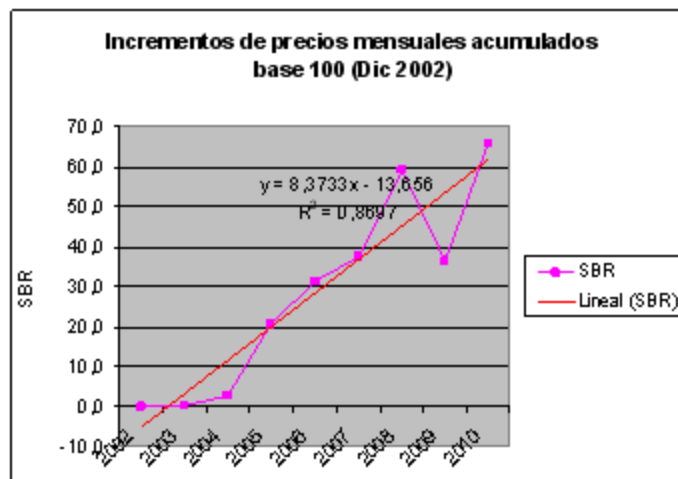
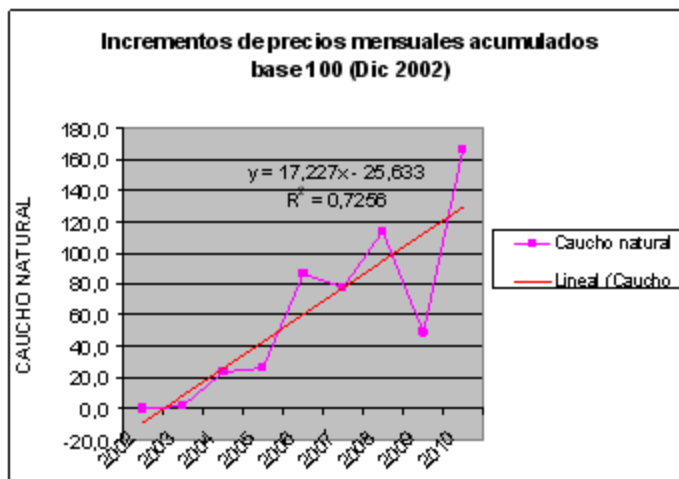
€ petróleo nuevo MAT=	17,56
€ nuevo Proceso=	4,02
€ Total Nuevos=	21,58

7. Previsiones sobre la evolución de costes



Evolución precios materias primas: Incrementos de precios mensuales acumulados. Base 100
Fuente: Consorcio Nacional de Industriales del Caucho

7. Previsiones sobre la evolución de costes



7. Previsiones sobre la evolución de costes

Extrapolación de la evolución de precios de las materias primas

Regresión lineal de incrementos de precios acumulados sobre base 100 (dic 2002)

$$P F_{NR} = 0,2153 * X - 429,95$$

$$P F_{SBR} = 0,1448 * X - 288,37$$

$$P F_{BR} = 0,1673 * X - 333,5$$

$$P F_{CB} = 0,868 * X - 173,29$$

X = año para el que se realiza la estimación. Precio en €/kg

Extrapolación de la evolución de precios de los recursos energéticos

$$P F_{FUEL} (\text{€/kg}) = 4,23 * 10^{-3} * X + 0,259 \quad X = \text{n}^\circ \text{ meses desde enero 2007}$$

Gas Natural: Evolución estimada según el IPC anual

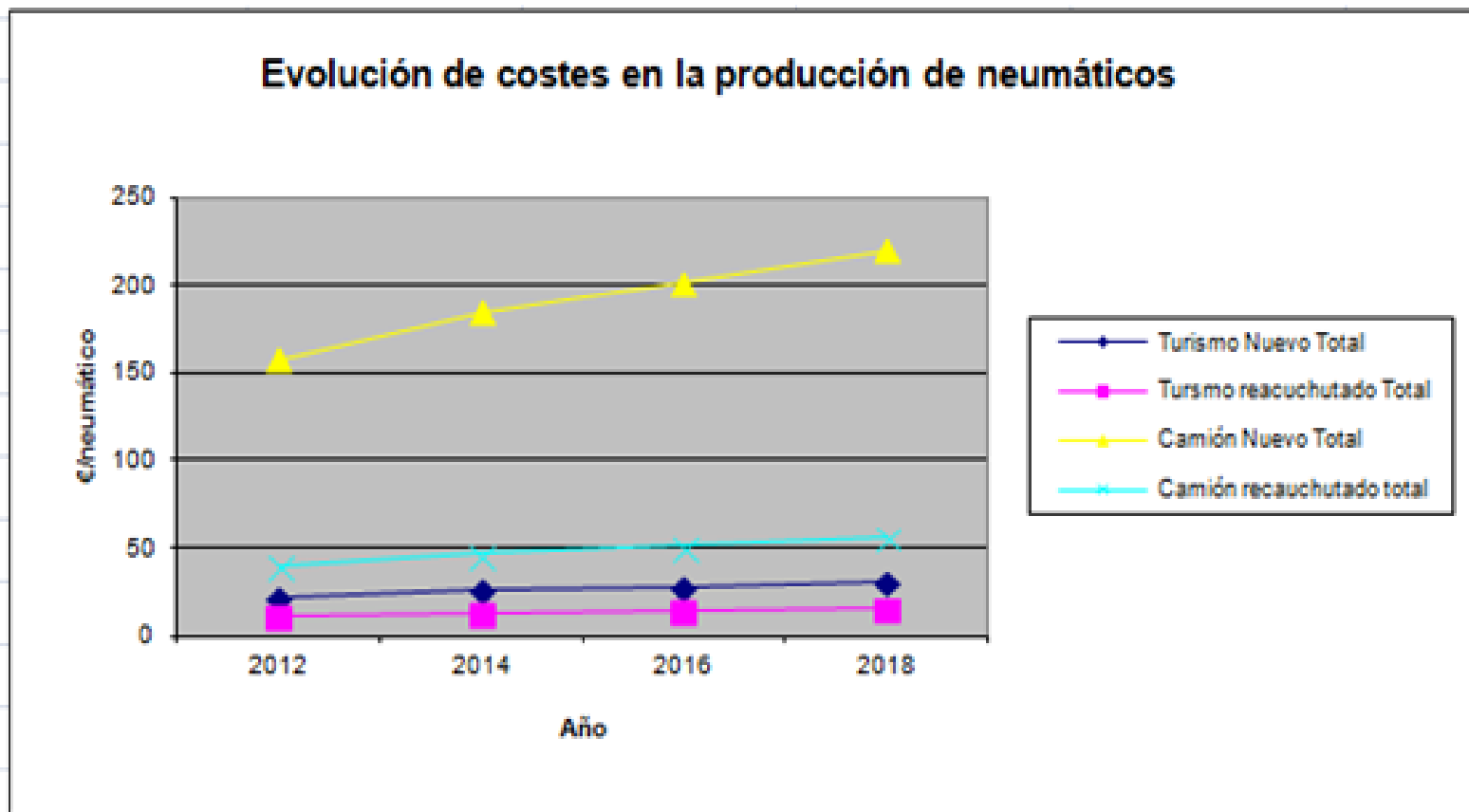
Electricidad: Evolución estimada: doble del IPC anual

7. Previsiones sobre la evolución de costes

Con las consideraciones realizadas, y los precios estimados de cada componente y recurso energético para los próximos años.

Tipo de neumático	2012	2014	2016	2018
	€/neumático	€/neumático	€/neumático	€/neumático
Turismo Nuevo Total	21,58	26,77	28,26	29,79
Proceso	4,02	4,29	4,59	4,91
Materiales	17,56	22,48	23,66	24,87
Turismo Recauchutado Total	10,98	12,89	14,13	15,38
Proceso	1,02	1,10	1,19	1,28
Materiales	9,96	11,79	12,94	14,11
Camión Nuevo Total	157,49	184,29	201,65	219,59
Proceso	18,46	19,74	21,4	22,61
Materiales	139,03	164,29	180,51	196,99
Camión Recauchutado Total	39,69	46,48	51,08	55,77
Proceso	3,9	4,15	4,64	5,14
Materiales	35,79	42,33	46,44	50,63

7. Previsiones sobre la evolución de costes





“La Tierra no es una herencia de
nuestros padres, sino un préstamo
de nuestros hijos”

Proverbio indio



**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA MEDIOAMBIENTAL
DEL RECAUCHUTADO DE NEUMÁTICOS**

ASPECTOS A VALORAR EN EL RECAUCHUTADO

✓ Eficiencia medioambiental en la fabricación

- Ahorro de energía y materiales: 70% comercial – 45% turismo
- Ahorro de emisiones de CO₂: 69% comercial – 52% turismo

(Según el análisis realizado en las páginas anteriores)

... y aún queda campo para la optimización de la eficiencia de los procesos de reciclado. Se está trabajando en esa línea.

ASPECTOS A VALORAR EN EL RECAUCHUTADO

✓ Eficiencia medioambiental en la fabricación

- Ahorro de energía y materiales: 70% comercial – 45% turismo
- Ahorro de emisiones de CO₂: 69% comercial – 52% turismo

✓ Eficiencia medioambiental en la utilización

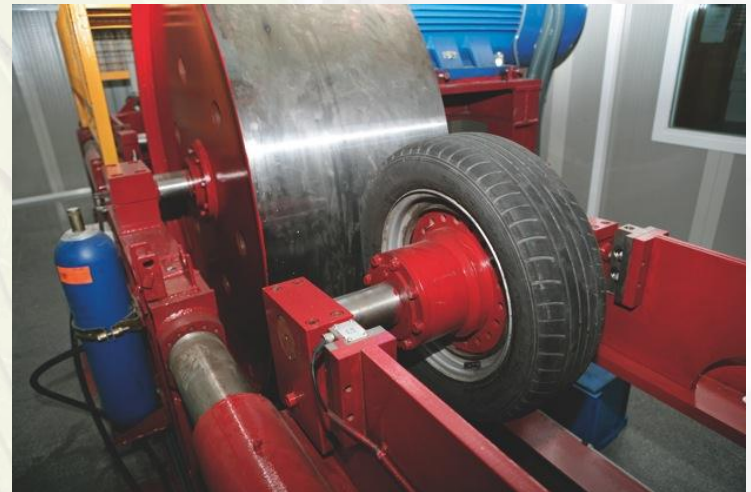
- Resistencia a la rodadura → consumo de combustible
- Ruido de rodadura → contaminación acústica

ASPECTOS A VALORAR EN EL RECAUCHUTADO

RESISTENCIA A LA RODADURA

(Tendencias observadas en un estudio realizado por la UMH sobre una muestra de neumáticos de turismo)

- Influencia determinante de la carcasa, se midieron diferencias importantes de resistencia a la rodadura (>10%) entre neumáticos recauchutados sobre carcasa de primera calidad y sobre carcasa de inferior calidad.
- Valores de resistencia a la rodadura similares o incluso inferiores a los medidos para neumáticos nuevos de segundas marcas.
- Se pueden obtener mejoras de resistencia a la rodadura importantes introduciendo modificaciones en la composición de la banda de rodadura.



ASPECTOS A VALORAR EN EL RECAUCHUTADO

RUIDO DE RODADURA

(Tendencias observadas en un estudio realizado por la UMH sobre una muestra de neumáticos de turismo)

- Influencia determinante de la calidad y el estado de la carcasa
- Valores de ruido medido en algunos casos inferiores a los de neumáticos nuevos equivalentes



ASPECTOS A VALORAR EN EL RECAUCHUTADO

- ✓ **Eficiencia medioambiental en la fabricación**
 - Ahorro de energía y materiales: 70% comercial – 45% turismo
 - Ahorro de emisiones de CO₂: 69% comercial – 52% turismo

- ✓ **Eficiencia medioambiental en la utilización**
 - Resistencia a la rodadura → consumo de combustible
 - Ruido de rodadura → contaminación acústica

- ✓ **Seguridad y prestaciones**
 - Resistencia carga/velocidad
 - Adherencia
 - Durabilidad y resistencia al desgaste

ASPECTOS A VALORAR EN EL RECAUCHUTADO

RESISTENCIA CARGA/VELOCIDAD

- **Mismos ensayos exigidos** por la reglamentación para neumáticos nuevos y recauchutados

R 108 ≈ R 30

R 109 ≈ R 54

- Certificación del sistema de **calidad** y gestión del proceso de recauchutado
- Ensayos de **conformidad de producción** anuales.

135 ensayos carga/velocidad sobre neumáticos recauchutados realizados en 2012 por la UMH.



ASPECTOS A VALORAR EN EL RECAUCHUTADO

- ✓ **Eficiencia medioambiental en la fabricación**
 - Ahorro de energía y materiales: 70% comercial – 45% turismo
 - Ahorro de emisiones de CO₂: 69% comercial – 52% turismo
- ✓ **Eficiencia medioambiental en la utilización**
 - Resistencia a la rodadura → consumo de combustible
 - Ruido de rodadura → contaminación acústica
- ✓ **Seguridad y prestaciones**
 - Resistencia carga/velocidad
 - Adherencia
 - Durabilidad y resistencia al desgaste
- ✓ **Rentabilidad económica**

ASPECTOS A VALORAR EN EL RECAUCHUTADO

- ✓ **Eficiencia medioambiental en la fabricación**
 - Ahorro de energía y materiales: 70% comercial – 45% turismo
 - Ahorro de emisiones de CO₂: 69% comercial – 52% turismo

- ✓ **Eficiencia medioambiental en la utilización**
 - Resistencia a la rodadura → consumo de combustible
 - Ruido de rodadura → contaminación acústica

- ✓ **Seguridad y prestaciones**
 - Resistencia carga/velocidad
 - Adherencia
 - Durabilidad y resistencia al desgaste

- ✓ **Rentabilidad económica**



Chair for research and training about recycled tyres

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF $u_{\text{R}} - k - u_{\text{k}} - \text{°}) @ 8$

November, 2012, in Elche

In-depth

analysis of the

According to the following aspects:

- Energetic and materials saving during manufacturing process
- CO₂ emissions saving during manufacturing process
- Economic saving related to material and energetic costs.

0.Reason

- In the bibliography it can be found **different values** as for:
 - Energetic saving in the manufacture of retread tires.
 - Material saving in the manufacture of retread tires.
- The different authors do not publish information about the studies that should endorse the rigor of the obtained values, neither on the type of tires to which they are applicable.
- In Spain, there are different studies which have been published on other strategies of use of the end-life tires, but it misses an analysis on the environmental benefits derived from the retread.
- There are articles published about economic questions of the retread but not specifically applied to the Spanish market.

*ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF THE RETREAD TIRES*

0.Reason

– Aims of management of the end-life tires marked by the **2008-2015 National Waste Plan (PNIR)**:

AIMS	Qualitative	To assure the correct environmental management of the end-life tires			
		Application of the principle of responsibility of the manufacturer to the persons in charge of the putting on the market of the tires			
		To determine quantitative aims of valuation and recycling of the end-life tires			
	quantitative		2008	2012	2015
		Retread	-	15	20
		Material Valuation	50 (40 from rubber in bituminous mixes) Steel: 100	52 (42 from rubber in bituminous mixes) Steel: 100	55 (45 from rubber in bituminous mixes) Steel: 100
		ENERGETIC VALUATION	30	25	20

– Evolution of the **accomplishment of aims**:

Datos en %		1998	1999	2000	2001	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Neumáticos usados ELT	Re-uso/ Exportación	1.5	1.9	2.7	2.3	4.5	6.5	4.9	9.9	3.7	2.1	1.9	1.5
	Recauchutado	13.6	10.8	12.9	13.9	13.9	12.4	14.9	12.1	12.5	11.4	9	8.4
	Valorización Material	0.4	1.4	1.5	1.4	7.8	13.9	13.6	13.8	18.6	53.6	45.6	49.2
	Valorización Energét.	3.3	4.5	7.5	6.2	9.9	17.1	16.6	17.0	11.0	32.9	43.1	40.9
	Vertedero	81.2	81.4	75.4	76.2	63.9	50.1	50.0	47.2	54.2	0	0.4	0
	Total %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Nº empresas de gestión ELT		0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE RETREAD TIRES

1.Aims

- ✓ **Analyze the environmental efficiency of the retread tires versus the new equivalent tires, quantifying:**
 - **Energy consumed in the process** of retread and in the recycling of the casings, with regard to the needed one to make the new equivalent tires.
 - **Raw materials used** in the process of retread, depending on the type and size of tires, with regard to the needed ones to make the new equivalent tires.
 - The **CO2 emissions** produced during the manufacture of tires in the different productive analyzed systems.
- ✓ To promote the use of the retread tires by means of the social awareness:
 - ENVIRONMENTAL BENEFIT
 - FULFILLMENT OF THE LEGAL AIMS
- ✓ To contribute with useful information for the optimization of the environmental and economic efficiency of the treatment of the tires at the end of its useful life.

*ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF u@- k-uk- °) @/8*

2. Methodology

SCHEME TO CALCULATE THE CONSUMPTIONS DURING THE MANUFACTURE

- TIRES OF NEW PRODUCTION.

$$E_{\text{Tot F}} = E_{\text{manufacture process}} + E_{\text{implied in the raw materials}} \quad (1)$$

$$E_{\text{manuf. process}} = E_{\text{casing}} + E_{\text{tread}} (R + F * GU) + E_{\text{textile}} + E_{\text{steel}} \quad (2)$$

$$E_{\text{raw materials}} = \% \text{ of each material} * \text{Contents E of material} \quad (3)$$

- RETREAD TIRES.

$$E_{\text{Tot R}} = E_{\text{manufacture process}} + E_{\text{raw materials composition}} \quad (4)$$

$$E_{\text{retread process}} = E_{\text{prep}} * E_{\text{retread}} * E_{\text{manuf proc}} \quad (5)$$

$$E_{\text{raw materials comp.}} = \% \text{ of each material} * \text{Contents E of material} \quad (6)$$

MEASUREMENT UNIT USED: EQUIVALENT LITRES OF OIL

*ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF UK-UK- °) 4/8*

2. Methodology

SOURCE OF INFORMATION

- Composition of the tires and quantifying of the materials: bibliography and companies of the sector.
- Quantity and type of energy consumed in the manufacturing process of remoulded: companies of the sector.
- Quantity and type of energy consumed in the manufacturing process of new tires: bibliography.
- Energetic intensities of materials: bibliography.
- CO2 emissions associated with the production of raw materials: bibliography.
- CO2 emissions associated with the use of every source of energy: bibliography.

ANALYSED RETREAD COMPANIES: 4 (from 35 in Spain)

Sample's representation:

- Passenger car: 100% of national production
- Commercial vehicles: 23% of national production

(Different volumes and typology of production)

*ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF UK-UK- °) @18*

3. Quantifying of the materials

ESTIMATION OF WEIGHT OF EACH PART OF THE TIRE

- Truck tire type 315/80 R22.5 :

NEW TIRE (315/80R22,5)		
Casing	54,50 kg	77,90%
Tread	14,00 kg	20,00%
Rubber side	1,50 kg	2,10%
RETREAD TIRE (315/80R22,5)		
Casing	54,50 Kg	76,20%
Tread	15,50 kg	21,70%
union rubber	1,25 kg	1,70%
Rubber side	0,25 kg	0,40%

- Passenger car tire type 195/65 R15 :

NEW TIRE (195/65R15)		
Casing	4,0 kg	53,30%
Tread	3,5 kg	46,70%
RETREAD TIRE (195/65R15)		
Casing	4,0 kg	44,40%
Tread	3,5 kg	38,90%
Rubber side	1,5 kg	16,70%

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF ~~u~~-k-uk- °) @/8

3. Quantifying of the materials

PERCENTAGE COMPOSITIONS

Bibliography

BASIC COMPOUNDING		
Compounding (%)	Automobile	Heavy veh.
Elastomeric (natural or synthetic)	48	45
Carbon black	22	22
Steel	15	25
Fibre textile	5	-
Additives (Antioxidants and stabilizing agents)	10	5

Information provided
by experts of the sector

PERCENTUAL COMPOSITION STANDART FORMULA	%	%
NATURAL RUBBER	10	8,5
SBR	23	22
POLYBUTADIENE (BR)	18	11
CARBON BLACK	30	32
PLASTIC OIL	15	21
Others	4	5,5
RUUBER FORMULA FOR SIDEWALL	%	%
NATURAL RUBBER	25	25
POLYBUTADIENE (BR)	35	35
CARBON BLACK	33	33
PLASTIC OIL	2	2
Others	5	5
FORMULE CAOUTCHOUC POUR FLANCS	%	%
NATURAL RUBBER	70	NO APPLICABLE
CARBON BLACK	15	
PLASTIC OIL	4	
Others	11	

**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF u@- k-uk- °) @/8**

3. Quantifying of the materials

ENERGETIC INTENSITIES OF EACH MATERIAL

(Get from the bibliography)

COMPOUNDINGS	E. content used in the most favourable calculation (MJ/kg)	E. content used in the less favourable calculation (MJ/kg)
NATURAL RUBBER	9,3	9,3
SBR	87,2	119,8
POLYBUTADIENE (BR)	55,63	86,7
CARBON BLACK	99,5	126,8
PLASTIC OIL	42	42
Steel	25	27,8
Silica	0,38	0,38
Textile	43,5	43,5
Others	49,6	49,6

4. Energetic calculation

CONSUMPTIONS ENERGETIC IN THE RETREAD (commercial vehicle)

Energetic consumption associated with materials (for the tire type)

	Favourable values	Unfavourable values	Average values
Tread	30,19 l	39,4 l	34,79 l
Sidewall	0,38l	0,518 l	0,45 l
Union rubber	0,99 l	1,13 l	1,06 l
Total	31,56 l	41,05 l	36,31 l

Energetic Consumption in the manufacture (for the tire type)

	Total consumption	Total consumption
Company 1	488,9 MJ/tire	13,6 l eq. oil
Company 2	83,17 MJ/ tire	2,3 l eq. oil
Company 3	92,2 MJ/ tire	2,6 l eq. oil
Company 4	150,2 MJ/ tire	4,2 l eq. oil

Average value weighted for the production in Spain: **6.55 l**

Global consumption

$$E_{\text{Tot R}} = 36.3 + 6.55 = 42.87 \text{ litres of oil}$$

4. Energetic calculation

CONSUMPTIONS ENERGETIC IN THE RETREAD (passenger car)

Energetic consumption associated with materials (for the tire type)

	Favourable values	Unfavourable values	Average values
Tread	6,76 l	8,63 l	7,69 l
Sidewall	2,41 l	3,23 l	2,82 l
Total	9,17 l	11,86 l	10,51 l

Energetic Consumption in the manufacture (for the tire type)

The average values of consumptions of the process have been calculated in 91,5 MJ/tire (2,54 L oil), considering the consumptions of the different sources of energy used by the only manufacturing plant.

Global consumption

$$E_{\text{Tot R}} = 10,51 + 2,54 = 13,05 \text{ litres of oil}$$

**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF $u_k - k - u_k - \circ$ @/8**

4. Energetic calculation

ENERGETIC CONSUMPTIONS IN THE NEW TIRES (commercial veh.)

Energetic consumption associated with materials (for the tire type)

Most favourable values of energetic intensity	3356,8 MJ	93,23 L oil
Less favourable values of energetic intensity	4169,8 MJ	115,73 L oil
Average values of energetic intensity	3763,3 MJ	104,8 L oil

Energetic Consumption in the manufacture (for the tire type)

E. manufacture process	MJ/tire
Rings and steels	10,01
Tread, sidewall and union rubber	2,715
Textiles	1083,85
Casing	226
Total tire	1322,58
L oil/tire	36,5 L

Global consumption

Oil Lt. used in the manufacture of new truck tire = 141,5 L

4. Energetic calculation

CONSUMPTIONS ENERGETIC IN THE NEW TIRES (passenger car)

Energetic consumption associated with materials (for the tire type)

Most favourable values of energetic intensity	493.6 MJ	13.7 L oil
Less favourable values of energetic intensity	626.9 MJ	17.4 L oil
Average values of energetic intensity	560.3 MJ	15.5 L oil

Energetic Consumption in the manufacture (for the tire type)

E. manufacture process	MJ/tire
Rings and steels	2.16
Tread, sidewall and union rubber	0.59
Textiles	235.9
Casing	49.01
Total tire	287.66
L oil/tire	7.98 L

Global consumption

Oil Lt. used in the manufacture of new PCR tire = 23,5 L

**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF UK- k-uk- °) @/8**

4. Energetic calculation

Analysis of the results

- Truck tire type:

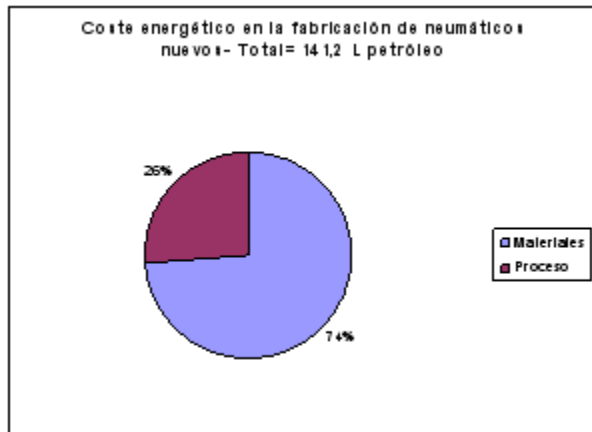
TRUCK	NEW	RETREAD	SAVINGS
Materials	104,46	36,32	65,20%
Process	36,69	6,55	82,10%
Total	141,2	42,87	69,60%

- Passenger car tire type:

TRUCK	NEW	RETREAD	SAVINGS
Materials	15,52	10,52	32,20%
Process	7,98	2,53	68,30%
Total	23,5	13,05	44,50%

4. Energetic calculation

Analysis of the results



5. Calculations of CO2 emissions

(Scheme of analogue calculation to the following in the energetic calculations)

- Emission's factors of the materials:

Material	Emissions (kg CO2/kg material)
Natural rubber	0,4
Synthetic rubber	5
Carbon black	5,7
Other additives	8,2
Textiles	2,1
Steel	3,2

- Emission's factors of the sources of energy used in the processes:

COMBUSTIBLE	CONVERSION FACTOR	EMISSION FACTOR
Natural gas (m3)	10,70 kWh/Nm3 of natural gas=13,75 kWh/kg	2,15 kg CO2/Nm3 de natural gas=2,76 kg CO2/kg N. gas
Gas butane (kg) Gas butane (n° bottles)	12,44 kWh/kg of butane gas	2,96 kg CO2/kg butane 37,06 kg CO2/bottle (12,5kg)
Gas propane (kg) Gas propane (n° bottles)	12,83 kWh/kg of propane gas	2,94 kg CO2/kg propane 102,84 kg Co2/bottle (35kg)
Gasoil (litres)	11,78 kWh/kg of gasoil	2,79kg CO2/l of gasoil = 3,28kg CO2/kg gasoil
Fuel	11,16 kWh/kg of fuel	3,05kg CO2/kg fuel

5. Calculations of CO2 emissions

Emissions in the retread (commercial vehicle)

- Emissions associated to materials = 88,2 kg CO2/tire

- Emissions during the manufacture:

Tread	NR	0,6288	kg CO2/Tread = 84,23
	SBR	18,078	
	BR	14,148	
	Carbon black	26,8812	
	Plastic agents	19,3356	
	Others	5,15616	
Sidewall	NR	0,024	kg CO2/Sidewall = 1,0332
	SBR	0	
	BR	0,42	
	Carbon black	0,45144	
	Plastic agents	0,03936	
	Others	0,0984	
Union rubber	NR	0,35	kg CO2/union = 2,95625
	SBR	0	
	BR	0	
	Carbon black	1,06875	
	Plastic agents	0,41	
	Others	1,1275	

* COMPANY 1: 40,72 KG CO2/tire		
* COMPANY 2: 6,00 KG CO2/ tire		
* COMPANY 3: 7,09 KG CO2/ tire		
* COMPANY 4: 6,08 KG CO2/ tire		
Weighted average of retread truck tires in Spain	16,26	kg CO2/ tire

- Global emissions: $88,26 + 16,26 = 104,5$ kg CO2 / tire

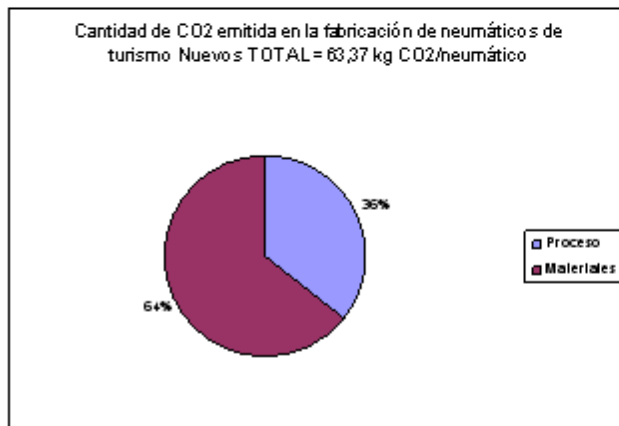
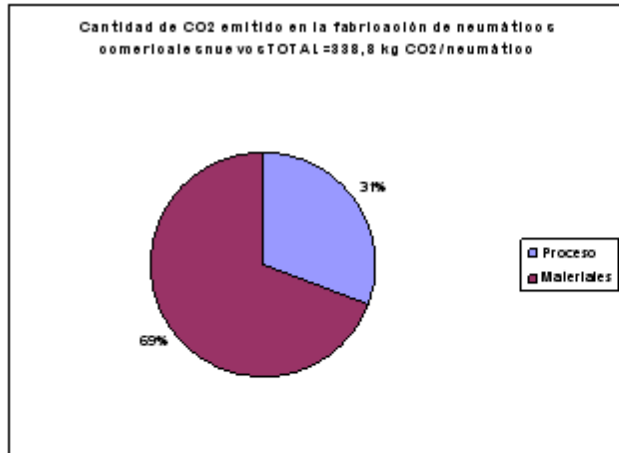
5. Calculations of CO2 emissions

Analysis of the results

	NEW TIRES		RETREAD TIRES	
	Commercial	PCR	Commercial	PCR
Process	10,49	22,75	16,26	5,37
Materials	233,89	40,89	88,21	25,21
Total	338,8	63,64	104,5	30,58
Savings	Commercials=69,1% of emissions		PCR=51,9% of emissions	

5. Calculations of CO2 emissions

Analysis of the results



ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF u@-k-uk-°) @/8

6. Calculation of economic savings

- They are considered EXCLUSIVELY the costs of energy and raw materials, and it follows an analogue scheme of calculations to the following in the energetic calculations.

- Average prices of the most of compounding:

	€/kg
Compounding	
Natural rubber	2,95
SBR	2,85
BR	2,85
Carbon black	1,25
Plastic agents	0,9
Steel	0,7
Silica	0,28
Textile	2,5
For "others"	1,785

- Average price of the energetic used resources:

- Natural gas : 0.0385 €/kWh
- Electricity : 0.1082 €/kWh
- Fuel-2 : 0.65 €/kg

**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF u@- k-uk- °) @/8**

6. Calculation of economic savings

Production cost of retread truck tires

Raw materials:

Commercial retread		€/kg material	
Tread	NR	4,6374	€/Tread = 32,145828
	SBR	10,30446	
	BR	8,06436	
	Carbon black	5,895	
	Plastic agents	2,1222	
	Others	1,122408	
Sidewall	NR	0,177	€/Sidewall= 0,54114
	SBR	0	
	BR	0,2394	
	Carbon black	0,099	
	Plastic agents	0,00432	
	Others	0,02142	
Union rubber	NR	2,58125	€/union Rubber = 3,1061
	SBR	0	
	BR	0	
	Carbon black	0,234375	
	Plastic agents	0,045	
	Others	0,2454375	

Total costs

€ retread MAT =	35,79
€ retread process =	3,9
€retread total =	39,69

Energy contributed in the production process:

Manufacture cost of TRUCK retread	
Company 1	8,5 €/tire
Company 2	1,95 €/ tire
Company 3	2,43 €/ tire
Company 4	2,09 €/ tire

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF u@-k-uk-°) @/8

6. Calculation of economic savings

Production costs of retread PCR tires

€ retread MAT =	9,96
€ retread process =	1,026
€total retread=	10,98

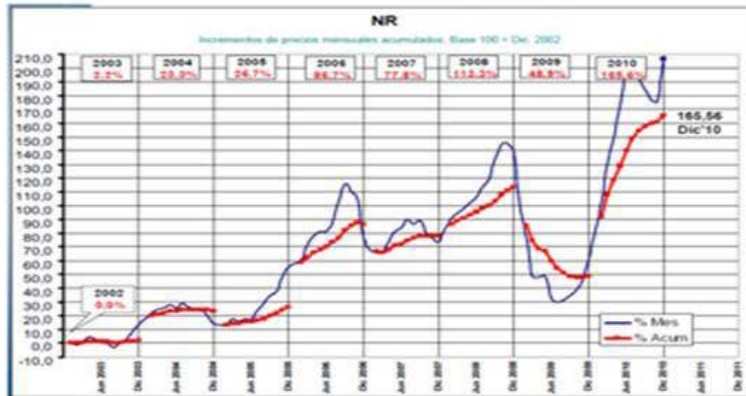
Production costs of new truck tires

€ new petrole MAT=	139,03
€ new process	18,46
€total news=	157,5

Production costs of new PCR tires

€ pétrole neuf MAT=	17,56
€ Processus neuf	4,02
€total neufs=	21,58

7. Forecast of the cost evolution



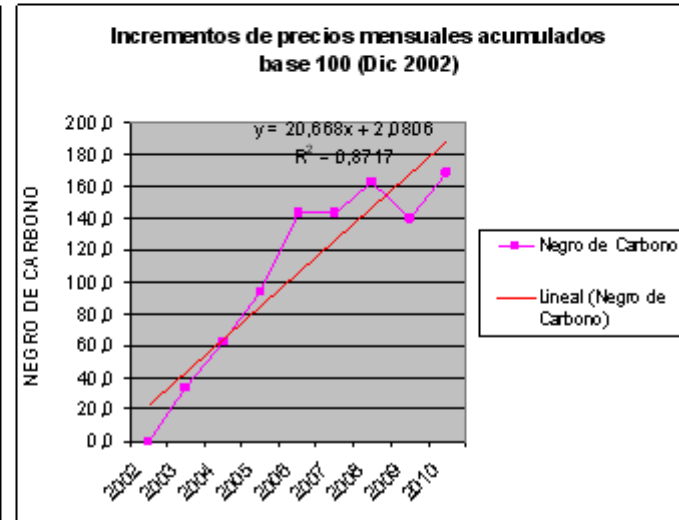
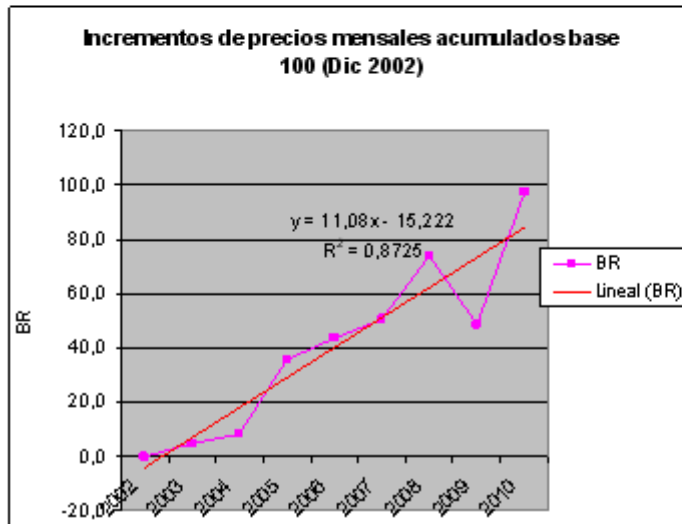
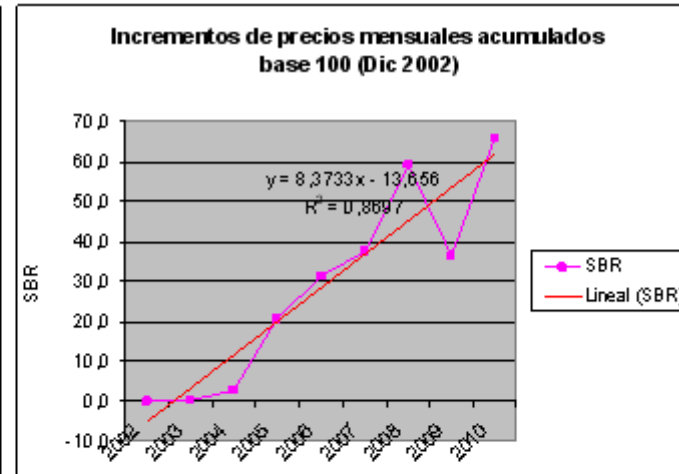
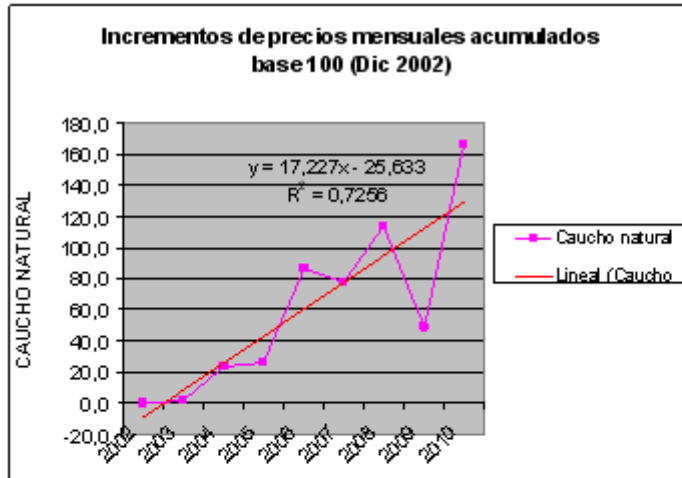
Evolución precios materias primas: Incrementos de precios mensuales acumulados. Base 100

Evolution of raw material prices: increases of monthly prices accumulated. Base 100

Source: National Consortium of Rubber Industries

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF TIRE k-uk-°) @/8

7. Forecast of the cost evolution



ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE RETREAD TIRES

7. Forecast of the cost evolution

Extrapolation of the raw materials prices evolution

Linear regression of increases of prices accumulated on base 100 (December, 2002)

$$PF_{NR} = 0,2153 * X - 429,95$$

$$PF_{SBR} = 0,1448 * X - 288,37$$

$$PF_{BR} = 0,868 * X - 173,29$$

X = year for which the estimation is realized. Prices in €/kg.

Extrapolation of the energetic resources prices evolution

$$PF_{FUEL}(\text{€/kg}) = 4,23 * 10^{-3} * X + 0,259 \quad X = \text{n}^{\circ} \text{ of month since 2007}$$

Natural gas: Evolution estimated according to annual CONSUMER PRICES INDEX.

Electricity: estimated Evolution: double of the annual CONSUMER PRICES INDEX

7. Forecast of the cost evolution

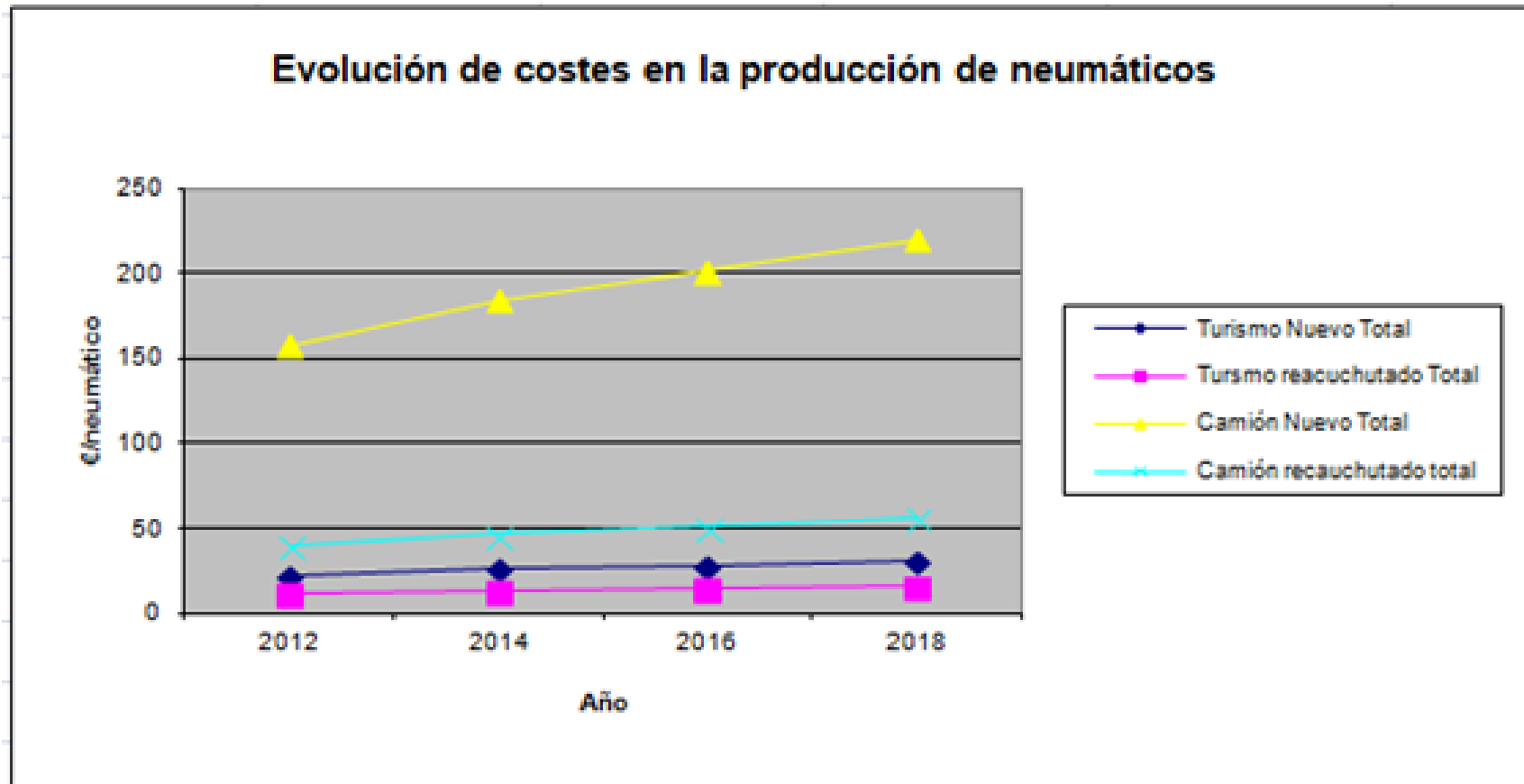
With the considerations done and estimated prices of each compounding and energetic resource for next years.

Kind of tire	2012	2014	2016	2018
	€/tire	€/ tire	€/ tire	€/ tire
New PCR tire Total	21,58	26,77	28,326	29,79
Process	4,02	4,29	4,59	4,91
Materials	17,56	22,48	23,66	24,87
Retread PCR tire Total	10,98	12,89	14,13	15,38
Process	1,02	1,1	1,19	1,28
Materials	9,95	11,79	12,94	14,11
New Truck tire Total	157,49	184,29	201,65	219,59
Process	18,46	19,74	21,4	22,61
Materials	139,03	164,29	180,51	196,99
Retread Truck tire Total	39,69	46,48	51,08	55,77
Process	3,9	4,15	4,64	5,14
Materials	35,79	42,33	46,44	50,63

**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF THE RETREAD TIRES**

7. Forecast of the cost evolution

Costs evolution during the tires production



**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF THE RETREAD TIRES**



“The Earth is not an inheritance of our parents, but a lending of our children” Indian proverb

***ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL
EFFICIENCY OF THE RETREAD TIRES***

ASPECTS TO VALUE IN THE RETREAD

✓ **Environmental efficiency in the manufacture**

- Saving of energy and materials: 70 commercial % - 45 % PCR
- CO2 emission saving: 69 commercial % - 52 % PCR

(According to the analysis realized in the previous pages)

... and there is still field for the optimization of the efficiency of the processes of recycling.
This is the line which is working on.

ASPECTS TO VALUE IN THE RETREAD

✓ **Environmental efficiency in the manufacture**

- Saving of energy and materials: 70 commercial % - 45 % PCR
- CO2 emission saving: 69 commercial % - 52 % PCR

✓ **Environmental efficiency in the use**

- Resistance to the tread → consumption of fuel
- Noise of tread → acoustic pollution

ASPECTS TO VALUE IN THE RETREAD

RESISTANCE TO THE TREAD

(Trend observed in a study realized by the UMH (Elche University) on a sample of tires of passenger car)

- ✓ Determinant influence of the casing, important differences of resistance have been measured to the tread ($> 10\%$) between retread tires on first quality casings and on low quality ones.
- ✓ Values of resistance to the tread similar or even lower than ones of second brands new tires.
- ✓ Important improvements of resistance can be obtained to the tread introducing modifications in the composition of the bearing surface.



ASPECTS TO VALUE IN THE RETREAD

NOISE OF TREAD

(Trend observed in a study realized by the UMH (Elche University) on a sample of tires of passenger car)

- Determinant influence of the quality and the condition of the casing
- Values of noise equal or lower than ones of equivalent new tires in some cases



ASPECTS TO VALUE IN THE RETREAD

✓ **Environmental efficiency in the manufacture**

- Saving of energy and materials: 70 commercial % - 45 % PCR
- CO2 emission saving: 69 commercial % - 52 % PCR

✓ **Environmental efficiency in the use**

- Resistance to the tread → consumption of fuel
- Noise of tread → acoustic pollution

✓ **Safety and performances**

- Load/speed resistance
- Adhesion
- Durability and wear resistance

ASPECTS TO VALUE IN THE RETREAD

LOAD/SPEED RESISTANCE

- The same tests demanded by the regulation for new and retread tires.

R108 ≈ R30

R109 ≈ R54

- Certification of the quality system and management of the process of retread.
- Annual tests of conformity of production.

135 tests load / speed on retread tires realized
in 2012 by the UMH.

ASPECTS TO VALUE IN THE RETREAD

✓ **Environmental efficiency in the manufacture**

- Saving of energy and materials: 70 commercial % - 45 % PCR
- CO2 emission saving: 69 commercial % - 52 % PCR

✓ **Environmental efficiency in the use**

- Resistance to the tread → consumption of fuel
- Noise of tread → acoustic pollution

✓ **Safety and performances**

- Load/speed resistance
- Adhesion
- Durability and wear resistance

✓ **Economic profitability**



*Chaire pour la recherche et la formation
des pneus rechapés*

ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE DU RECHAPAGE DE PNEUS

Novembre 2012, à Elche

Analyse en profondeur de l'efficacité du processus de rechapage de pneus.

En tenant en compte les aspects suivants :

- L'économie énergétique et des matériels associée à la fabrication
- L'économie d'émissions de CO2 associée à la fabrication
- L'économie d'argent associée au prix de matériels et d'énergie.

0. Justification

- Dans la bibliographie se trouvent des valeurs très différentes en ce qui concerne :
 - L'économie énergétique dans la fabrication de pneus rechapés
 - L'économie des matériels dans la fabrication de pneus rechapés
- Les divers auteurs ne publient pas d'information sur les études qui devraient soutenir la rigueur des valeurs obtenues, ni sur le type de pneus auxquels ils sont applicables.
- En Espagne, il y a différentes études publiées sur d'autres stratégies de profit des pneus hors d'usage, mais manque une analyse sur les bénéfices environnementaux dérivés du rechapage.
- Il existe des articles publiés sur des questions économiques du rechapage, mais non spécifiquement appliqués au marché espagnol.

***ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS***

0. Justification

- Objectifs de la gestion des pneus usés marqués par le **Plan National de gestion des déchets (PNIR) 2008-2015** :

OBJECTIFS	Qualitatifs	assurer la gestion correcte environnementale des pneus usagés			
		Application du principe de responsabilité du producteur aux responsables de la mise sur le marché des pneus			
		Déterminer les objectifs quantitatifs de valorisation et recyclage de pneus usés			
	quantitatifs		2008	2012	2015
		Rechapé	-	15	20
Valorisation matériel		50 (40 du caoutchouc dans des mélanges bitumineux) Acier: 100	52 (42 du caoutchouc dans des mélanges bitumineux) Acier: 100	55 (45 du caoutchouc dans des mélanges bitumineux) Acier: 100	
	Valorisation énergétique	30	25	20	

- Évolution de l'accomplissement d'objectifs:

Datos en %		1998	1999	2000	2001	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Neumáticos usados ELT	Re-uso/ Exportación	1.5	1.9	2.7	2.3	4.5	6.5	4.9	9.9	3.7	2.1	1.9	1.5
	Recauchutado	13.6	10.8	12.9	13.9	13.9	12.4	14.9	12.1	12.5	11.4	9	8.4
	Valorización Material	0.4	1.4	1.5	1.4	7.8	13.9	13.6	13.8	18.6	53.6	45.6	49.2
	Valorización Energét.	3.3	4.5	7.5	6.2	9.9	17.1	16.6	17.0	11.0	32.9	43.1	40.9
	Vertedero	81.2	81.4	75.4	76.2	63.9	50.1	50.0	47.2	54.2	0	0.4	0
Total %		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Nº empresas de gestión ELT		0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

1.Objectifs

- ✓ Analyser l'efficacité environnementale des pneus rechapés versus les pneus neufs équivalents, en quantifiant :
 - **L'énergie consommée dans le processus** de rechapage et dans la récupération des carcasses, par rapport à la requise pour fabriquer les pneus neufs équivalents.
 - **Des matières premières utilisées** dans le processus de rechapage, en fonction du type et mesure du pneu, par rapport aux requises pour fabriquer les pneus neufs équivalents.
 - Les **émissions de CO2** produites pendant la fabrication de pneus dans différents systèmes productifs analysés.
- ✓ Promouvoir l'usage du rechapé à travers la sensibilisation sociale :
 - BÉNÉFICE ENVIRONNEMENTAL
 - ACCOMPLISSEMENT DES OBJECTIFS LÉGAUX
- ✓ Apporter l'information utile pour l'optimisation de l'efficacité environnementale et économique du traitement des pneus à la fin de sa vie utile.

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

2. Méthodologie

SCHÉMA DE CALCUL POUR LES CONSOMMATIONS PENDANT LA FABRICATION

- PNEUS DE NOUVELLE FABRICATION.

$$E_{\text{Tot F}} = E_{\text{processus fabrication}} + E_{\text{impliquée dans les matières premières}} \quad (1)$$

$$E_{\text{proc fabrication}} = E_{\text{carcasse}} + E_{\text{bandes}} (R + F * GU) + E_{\text{textile}} + E_{\text{acier}} \quad (2)$$

$$E_{\text{matières premières}} = \% \text{ de chaque matériel} * \text{Contenu E du matériel} \quad (3)$$

- PNEUS RECHUTÉS.

$$E_{\text{Tot R}} = E_{\text{processus recheté}} + E_{\text{composition matières premières}} \quad (4)$$

$$E_{\text{proc recheté}} = E_{\text{prep}} * E_{\text{recheté}} * E_{\text{fab mat}} \quad (5)$$

$$E_{\text{composition mat. Prem.}} = \% \text{ de chaque matériel} * \text{Cont E du matériel} \quad (6)$$

UNITÉ DE MESURE UTILISÉE : Litres équivalents de pétrole

2.Méthodologie

SOURCE D'INFORMATION

- Composition des pneus et quantification de matériels : bibliographie et entreprises du secteur.
- Quantité et type d'énergie consommée dans le processus de fabrication de rechapage : entreprises du secteur.
- Quantité et type d'énergie consommée dans le processus de fabrication de pneus neufs : bibliographie.
- Intensités énergétiques de matériels : bibliographie.
- Émissions de CO2 associées à la production de matières premières : bibliographie.
- Émissions de CO2 associées à l'usage de chaque source d'énergie : bibliographie.

ENTREPRISES DE RECHUTÉ ANALYSÉES : 4 (de 35 en Espagne)

Représentation des échantillons :

- Voiture : 100% de la production nationale
- Véhicules commerciaux : 23% de la production nationale
(Différents volumes et typologies de production)

***ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS***

3. Quantification de matériels

ESTIMATION DE POIDS DE CHAQUE PARTIE DU PNEU

- Pneu type camion 315/80 R22.5 :

PNEU NEUF (315/80R22,5)		
Carcasse	54,50 kg	77,90%
Bande de roulement	14,00 kg	20,00%
Caoutchouc des flancs	1,50 kg	2,10%
PNEU RECHUTÉ (315/80R22,5)		
Carcasse	54,50 Kg	76,20%
Bande de roulement	15,50 kg	21,70%
Caoutchouc d'union	1,25 kg	1,70%
Caoutchouc des flancs	0,25 kg	0,40%

- Pneu type voiture 195/65 R15 :

PNEU NEUF (195/65R15)		
Carcasse	4,0 kg	53,30%
Bande de roulement	3,5 kg	46,70%
PNEU RECHUTÉ (195/65R15)		
Carcasse	4,0 kg	44,40%
Bande de roulement	3,5 kg	38,90%
Caoutchouc des flancs	1,5 kg	16,70%

3. Quantification de matériels

COMPOSITIONS EN POURCENTAGE

Bibliographie

COMPOSANTS BASICS D'UN PNEU		
Composant (%)	Automobile	V. lourd
Élastomère (Naturel ou synthétique)	48	45
Noir de fumée	22	22
Acier	15	25
Fibres textiles	5	-
Additives (Antioxydants et stabilisants)	10	5

Information apportée

par des experts du secteur

FORMULE CAOUTCHOUC POUR BANDE	%	%
CAOUTCHOUC NATUREL	10	8,5
SBR	23	22
POLYBUTADIENE (BR)	18	11
NOIR DE FUMÉE	30	32
HUILE PLASTIFIANT	15	21
Autres	4	5,5
FORMULE CAOUTCHOUC POUR FLANCS	%	%
CAOUTCHOUC NATUREL	25	25
POLYBUTADIENE (BR)	35	35
NOIR DE FUMÉE	33	33
HUILE PLASTIFIANT	2	2
Autres	5	5
FORMULE CAOUTCHOUC POUR FLANCS	%	%
CAOUTCHOUC NATUREL	70	NON APPLICABLE
NOIR DE FUMÉE	15	
HUILE PLASTIFIANT	4	
Autres	11	

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

3. Quantification de matériels

INTENSITÉS ÉNERGÉTIQUES POUR CHAQUE MATÉRIEL

(Obtenues à partir de la bibliographie)

COMPOSANTS	Contenu E. utilisé dans le calcul plus favorable (MJ/kg)	Contenu E. utilisé dans le calcul moins favorable (MJ/kg)
CAOUTCHOUC NATUREL	9,3	9,3
SBR	87,2	119,8
POLYBUTADIENE (BR)	55,63	86,7
NOIR DE FUMÉE	99,5	126,8
HUILE PLASTIFIANT	42	42
Acier	25	27,8
Silice	0,38	0,38
Textile	43,5	43,5
Autres	49,6	49,6

4. Calculs énergétiques

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DANS LE RECHUTÉ (véh. Commerciaux)

Consommation énergétique associée aux matériels (pour le pneu type)

	Valeur favorable	Valeur défavorable	Valeur moyen
Bande de roulement	30,19 l	39,4 l	34,79 l
Flancs	0,38l	0,518 l	0,45 l
Caoutchouc d'union	0,99 l	1,13 l	1,06 l
Total	31,56 l	41,05 l	36,31 l

Consommation énergétique dans la fabrication (pour le pneu type)

	Consommation totale	Consommation totale
Entreprise 1	488,9 MJ/pneu	13,6 l eq. pétrole
Entreprise 2	83,17 MJ/pneu	2,3 l eq. pétrole
Entreprise 3	92,2 MJ/pneu	2,6 l eq. pétrole
Entreprise 4	150,2 MJ/pneu	4,2 l eq. pétrole

Valeur moyen pondéré pour la production en Espagne : **6.55 l**

Consommation Global

$$E \text{ Tot R} = 36.3 + 6.55 = 42.87 \text{ litres de pétrole}$$

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

4. Calculs énergétiques

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DANS LE RECHUTÉ (voiture)

Consommation énergétique associée aux matériels (pour le pneu type)

	Valeur favorable	Valeur défavorable	Valeur moyen
Bande de roulement	6,76 l	8,63 l	7,69 l
Flancs	2,41 l	3,23 l	2,82 l
Total	9,17 l	11,86 l	10,51 l

Consommation énergétique dans la fabrication (pour le pneu type)

Les valeurs moyennes de consommation du processus ont été calculés à 91,5 MJ/pneu (2,54 L pétrole), en considérant la consommation de différentes sources d'énergie employées par l'unique entreprise fabricante.

Consommation Global

$$E_{\text{Tot R}} = 10,51 + 2,54 = 13,05 \text{ litres de pétrole}$$

4. Calculs énergétiques

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DANS LE PNEU NEUF (véh. Commerciaux)

Consommation énergétique associée aux matériels (pour le pneu type)

Valeurs plus favorables d'intensité énergétique	3356,8 MJ	93,23 L pétrole
Valeurs moins favorables d'intensité énergétique	4169,8 MJ	115,73 L pétrole
Valeurs moyen d'intensité énergétique	3763,3 MJ	104,8 L pétrole

Consommation énergétique dans la fabrication (pour le pneu type)

E. processus de fabrication	MJ/pneu
Anneaux et aciers	10,01
Bandes de roulement, flancs et gomme d'union	2,715
Textiles	1083,85
Carcasse	226
Total pneu	1322,58
L pétrole/pneu	36,5 L

Consommation Global

L pétrole utilisé dans la fabrication du pneu de camion neuf = 141,5 L

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

4. Calculs énergétiques

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DANS LE PNEU NEUF (voiture)

Consommation énergétique associée aux matériels (pour le pneu type)

Valeurs plus favorables d'intensité énergétique	493.6 MJ	13.7 L pétrole
Valeurs moins favorables d'intensité énergétique	626.9 MJ	17.4L pétrole
Valeurs moyen d'intensité énergétique	560.3 MJ	15.5 L pétrole

Consommation énergétique dans la fabrication (pour le pneu type)

E. processus de fabrication	MJ/pneu
Anneaux et aciers	2.16
Bandes de roulement, flancs et gomme d'union	0.59
Textiles	235.9
Carcasse	49.01
Total pneu	287.66
L pétrole/pneu	7.98 L

Consommation Global

L pétrole utilisé dans la fabrication du pneu de voiture neuf = 23,5 L

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

4. Calculs énergétiques

Analyse de résultats

- Pneu type camion :

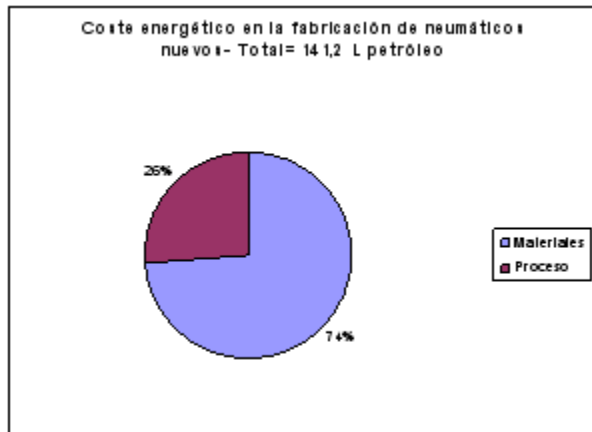
CAMION	NEUF	RECHUTÉ	ÉCONOMIE
Matériels	104,46	36,32	65,20%
Processus	36,69	6,55	82,10%
Total	141,2	42,87	69,60%

- Pneu type voiture

CAMION	NEUF	RECHUTÉ	ÉCONOMIE
Matériels	15,52	10,52	32,20%
Processus	7,98	2,53	68,30%
Total	23,5	13,05	44,50%

4. Calculs energètiques

Analyse de resultats



**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

5. Calculs des émissions de CO2

(Schéma de calcul analogue à suivi dans les calculs énergétiques)

- Facteurs d'émission des matériels :

Material	Emissions (kg CO2/kg material)
Natural rubber	0,4
Synthetic rubber	5
Carbon black	5,7
Other additives	8,2
Textiles	2,1
Steel	3,2

- Facteurs d'émission des sources d'énergie employée dans le processus :

COMBUSTIBLE	FACTEUR DE CONVERSION	FACTEUR D'EMISSION
Gaz naturel (m3)	10,70 kWh/Nm3 de gaz naturel=13,75 kWh/kg	2,15 kg CO2/Nm3 de gaz naturel=2,76 kg CO2/kg Gaz N
Gaz butane (kg) Gaz butane (n° bouteilles)	12,44 kWh/kg de gaz butane	2,96 kg CO2/kg de gaz butane 37,06 kg CO2/bouteille (12,5kg)
Gaz propane (kg) Gaz propane (n° bouteilles)	12,83 kWh/kg de gaz propane	2,94 kg CO2/kg de gaz propane 102,84 kg Co2/bouteille (35kg)
Gasoil (litres)	11,78 kWh/kg de gasoil	2,79kg CO2/l de gasoil = 3,28kg CO2/kg gasoil
Fuel	11,16 kWh/kg de fuel	3,05kg CO2/kg fuel

5. Calculs des émissions de CO2

Émissions du recheté (véh. Commerciaux)

- Émissions associées aux matériels = 88,2 kg CO2/pneu
- Émission pendant la fabrication:

Bande	NR	0,6288	kg CO2/Bande = 84,23
	SBR	18,078	
	BR	14,148	
	Noir de fumée	26,8812	
	Plastifiant	19,3356	
	Autres	5,15616	
Flancs	NR	0,024	kg CO2/Flancs = 1,0332
	SBR	0	
	BR	0,42	
	Noir de fumée	0,45144	
	Plastifiant	0,03936	
	Autres	0,0984	
Caoutchouc d'union	NR	0,35	kg CO2/Union = 2,95625
	SBR	0	
	BR	0	
	Noir de fumée	1,06875	
	Plastifiant	0,41	
	Autres	1,1275	

- Émissions globales: $88,26 + 16,26 = 104,5$ kg CO2 / pneu

* ENTREPRISE 1: 40,72 KG CO2/pneu		
* ENTREPRISE 2: 6,00 KG CO2/pneu		
* ENTREPRISE 3: 7,09 KG CO2/pneu		
* ENTREPRISE 4: 6,08 KG CO2/pneu		
Moyenne pondérée de recheté de camion en España	16,26	kg CO2/pneu

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

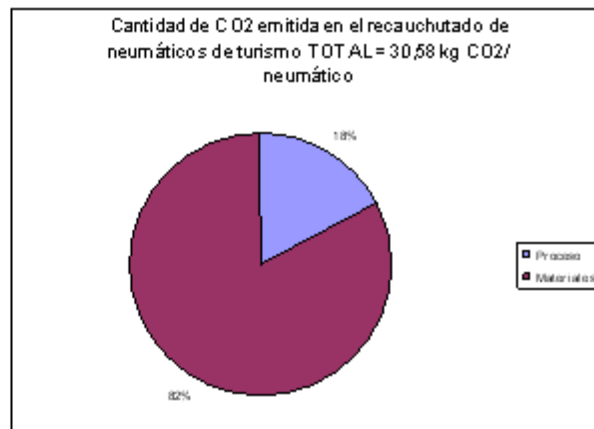
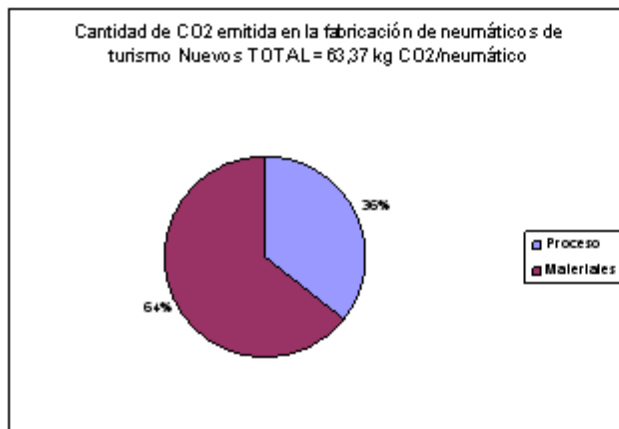
5. Calculs des émissions de CO2

Analyse de résultats

	Pneus neufs		Pneus rechapés	
	Commerciaux	Voitures	Commerciaux	Voitures
Processus	10,49	22,75	16,26	5,37
Matériels	233,89	40,89	88,21	25,21
Total	338,8	63,64	104,5	30,58
Économie	Commerciaux=69,1% des émissions		Voiture=51,9% des émissions	

5. Calculs des émissions de CO2

Analyse de résultats



**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

6. Calculs de l'économie d'argent

- SEULEMENT les prix d'énergie et de matières premières ont été tenus en compte, et les calculs énergétiques sont fait sur la base du schéma analogue de calculs.

- Prix moyens des composants majoritaires :

Components	€/kg
Caoutchouc naturel	2,95
SBR	2,85
BR	2,85
Noir de fumée	1,25
Plastifiant	0,9
Acier	0,7
Silice	0,28
Textile	2,5
Pour "autres"	1,785

- Prix moyen des ressources énergétiques utilisées :

- Gaz naturel : 0.0385 €/kWh
- Électricité : 0.1082 €/kWh
- Fuel-2 : 0.65 €/kg

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

6. Calculs de l'économie d'argent

Coûts de production de pneus rechapés de camion

Matières premières:

Rechuté commercial		€/kg matériel	
Bande	NR	4,6374	€/Bande = 32,145828
	SBR	10,30446	
	BR	8,06436	
	Noir de fumée	5,895	
	Plastifiant	2,1222	
	Autres	1,122408	
Flancs	NR	0,177	€/Flancs = 0,54114
	SBR	0	
	BR	0,2394	
	Noir de fumée	0,099	
	Plastifiant	0,00432	
	Autres	0,02142	
Caoutchouc d'union	NR	2,58125	€/C. d'union = 3,1061
	SBR	0	
	BR	0	
	Noir de fumée	0,234375	
	Plastifiant	0,045	
	Autres	0,2454375	

Coûts totaux

€ MAT rechapé =	35,79
€ Processus rechapé=	3,9
€total rechapé=	39,69

Énergie apportée dans le processus productif:

Coûts productif du rechapé de CAMION	
Entreprise 1	8,5 €/pneu
Entreprise 2	1,95 €/pneu
Entreprise 3	2,43 €/pneu
Entreprise 4	2,09 €/pneu

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

6. Calculs de l'économie d'argent

Coûts de production de pneus rechapés de voiture

€ MAT rechapé =	9,96
€ Processus rechapé =	1,026
€total rechapé=	10,98

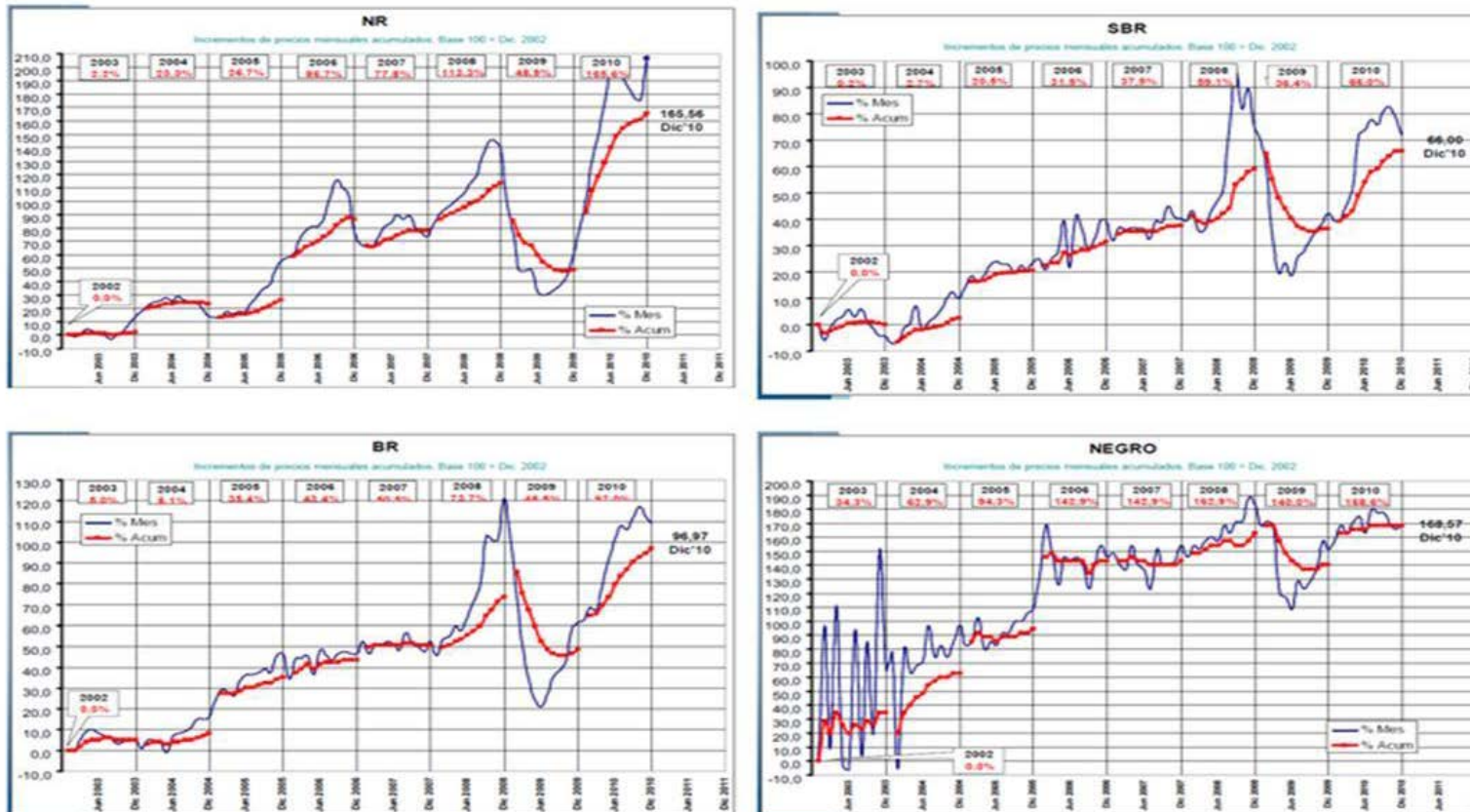
Coûts de production de pneus neufs de camion

€ pétrole neuf MAT=	139,03
€ Processus neuf	18,46
€total neufs=	157,5

Coûts de production de pneus neufs de voiture

€ pétrole neuf MAT=	17,56
€ Processus neuf	4,02
€total neufs=	21,58

7. Prévisions de l'évolution des coûts



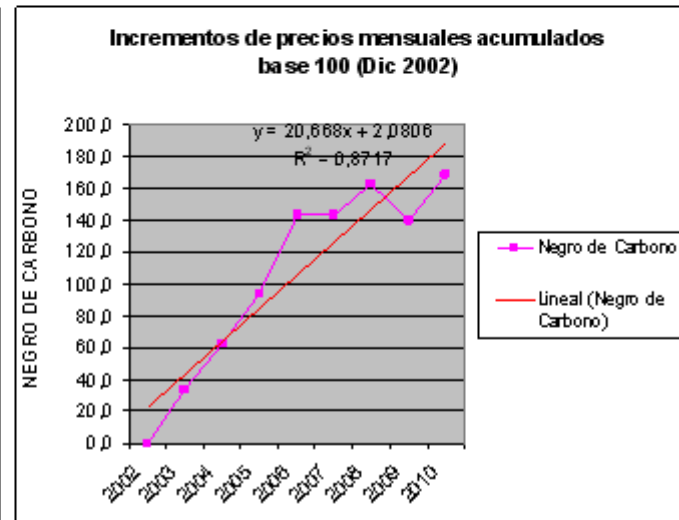
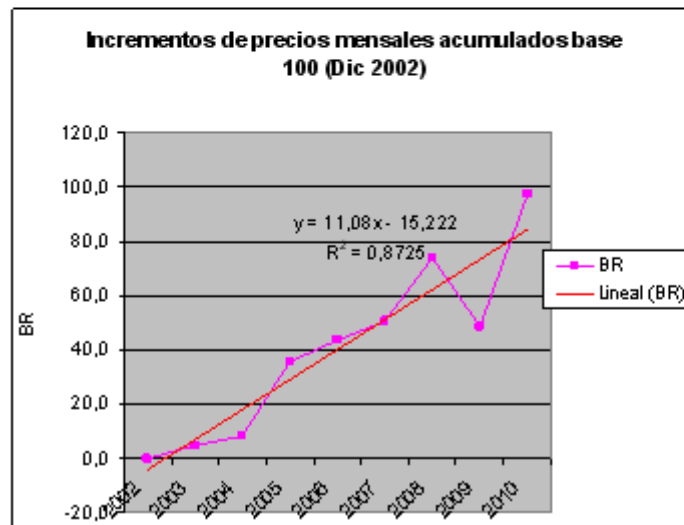
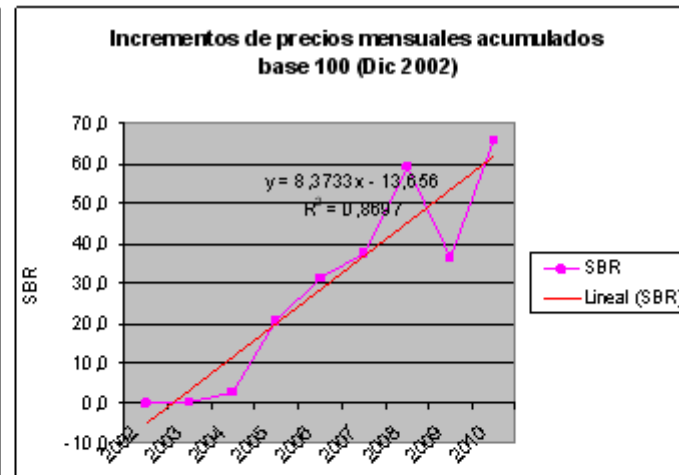
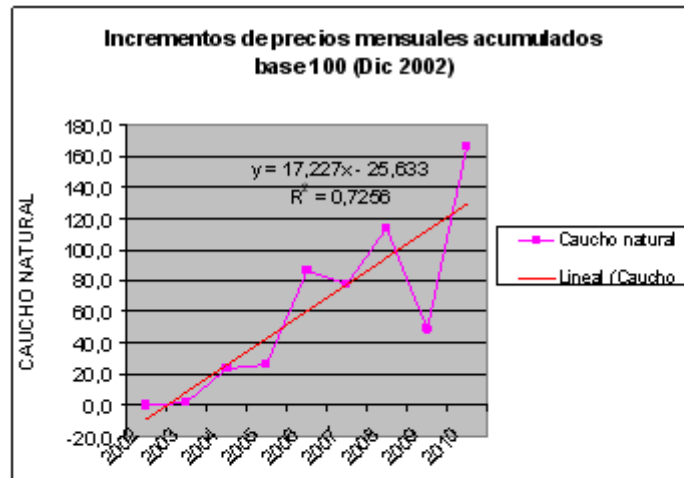
Evolution precios materias primas; Incrementos de precios mensuales acumulados. Base 100

Évolution des prix de matières premières : augmentation de prix mensuels accumulés. Base 100

Source: Consortium National des Industriels du Caoutchouc

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

7. Prévisions de l'évolution des coûts



**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

7. Prévisions de l'évolution des coûts

Extrapolation de l'évolution de prix des matières premières.

Régression linéaire d'augmentation de prix accumulés sur base 100 (décembre 2002)

$$PF_{NR} = 0,2153 * X - 429,95$$

$$PF_{SBR} = 0,1448 * X - 288,37$$

$$PF_{BR} = 0,868 * X - 173,29$$

X = l'année pour laquelle l'estimation est réalisée. Prix en €/kg

Extrapolation de l'évolution de prix des ressources énergétiques.

$$PF_{FUEL}(\text{€/kg}) = 4,23 * 10^{-3} * X + 0,259 \quad X = \text{n}^{\circ} \text{ mois depuis janvier 2007}$$

Gaz naturel : Évolution estimée selon IPC annuel.

Électricité : Évolution estimée : double de l'IPC annuel

7. Prévisions de l'évolution des coûts

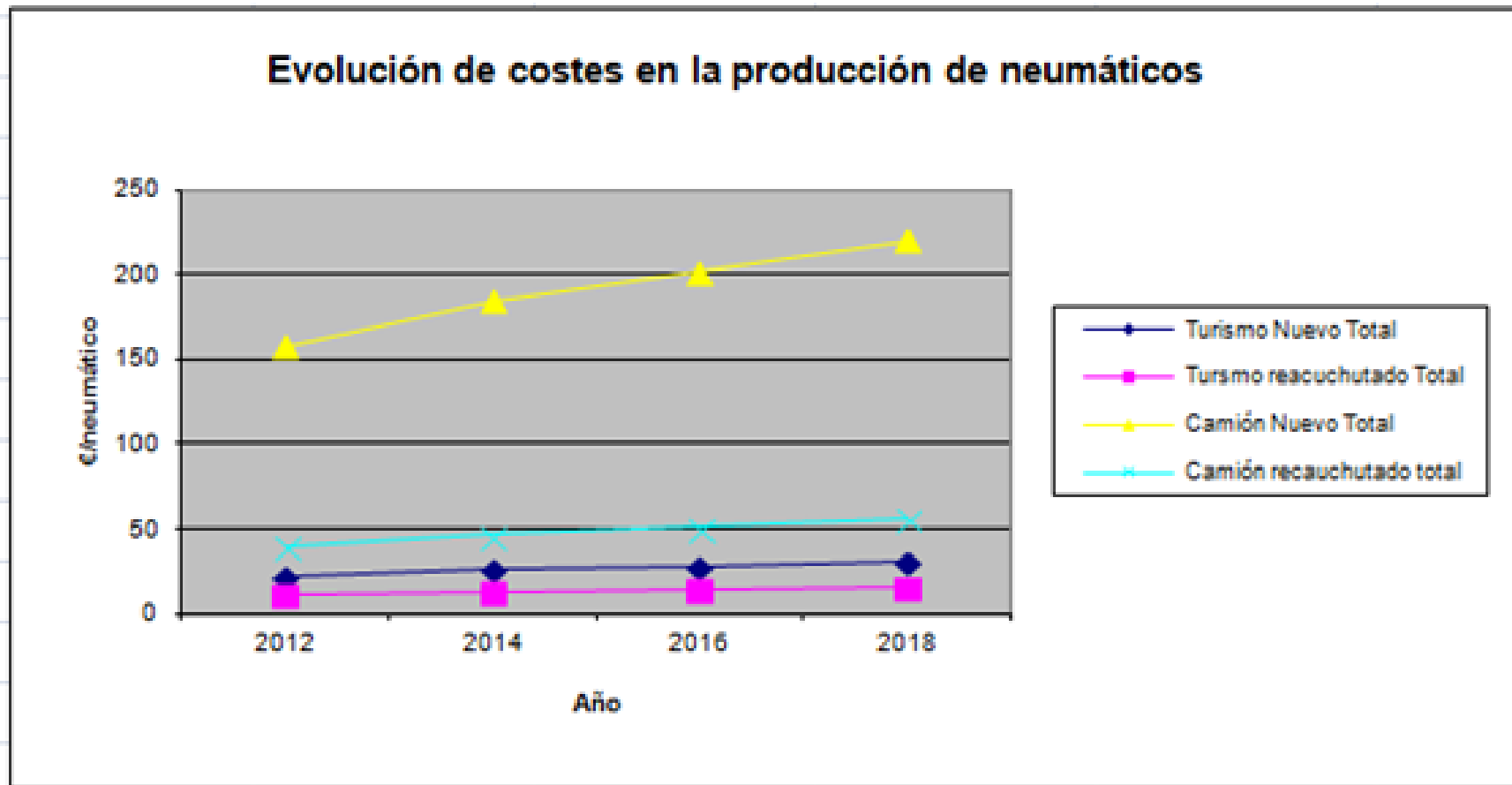
Avec les considérations faites et les prix estimés de chaque composant et de ressource énergétique pour les années suivantes.

Type de pneu	2012	2014	2016	2018
	€/pneu	€/pneu	€/pneu	€/pneu
Pneu neuf voiture Total	21,58	26,77	28,326	29,79
Processus	4,02	4,29	4,59	4,91
Matériels	17,56	22,48	23,66	24,87
Pneu rechapé voiture Total	10,98	12,89	14,13	15,38
Processus	1,02	1,1	1,19	1,28
Matériels	9,95	11,79	12,94	14,11
Pneu neuf camion Total	157,49	184,29	201,65	219,59
Processus	18,46	19,74	21,4	22,61
Matériels	139,03	164,29	180,51	196,99
Pneu rechapé camion Total	39,69	46,48	51,08	55,77
Processus	3,9	4,15	4,64	5,14
Matériels	35,79	42,33	46,44	50,63

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

7. Prévisions de l'évolution des coûts

Évolution des coûts de la production de pneus



**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**



« La Terre n'est pas un héritage de nos parents, mais un prêt de nos enfants » proverbe indien

**ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE
DU RECHAPAGE DE PNEUS**

ASPECTS À ÉVALUER DANS LE RECHAPAGE

✓ Efficacité environnementale dans la fabrication

- Économie d'énergie et de matériels : 70 % commerciaux - 45 % voiture
- Économie d'émissions de CO₂ : 69 % commerciaux - 52 % voiture

(Selon l'analyse réalisée aux pages antérieures)

... et il reste encor du champ pour l'optimisation de l'efficacité des processus de recyclé.
C'est la ligne sur laquelle se travaille.

ASPECTS À ÉVALUER DANS LE RECHAPAGE

- ✓ **Efficacité environnementale dans la fabrication**
 - Économie d'énergie et de matériels : 70 % commerciaux - 45 % voiture
 - Économie d'émissions de CO₂ : 69 % commerciaux - 52 % voiture

- ✓ **Efficacité environnementale dans l'usage**
 - Résistance au roulement → consommation de combustible
 - Bruit de roulement → contamination acoustique

ASPECTS À ÉVALUER DANS LE RECHAPAGE

RÉSISTANCE AU ROULEMENT

(Tendances observées dans l'étude réalisée par l'UMH (Université d'Elche) sur un échantillon de pneus de voiture)

- ✓ L'influence déterminante de la carcasse, des différences importantes de résistance se sont mesurées au roulement ($> 10\%$) entre des pneus rechapés sur des carcasses de première qualité et sur des carcasses de qualité inférieure.
- ✓ Valeurs de résistance au roulement similaires ou même inférieures aux mesurés pour de pneus neufs de deuxièmes marques.
- ✓ Il peut s'obtenir des améliorations de résistance au roulement importantes en introduisant des modifications dans la composition de la bande de roulement.



ASPECTS À ÉVALUER DANS LE RECHAPAGE

BRUIT DE ROULEMENT

(Tendances observées dans l'étude réalisée par l'UMH (Université d'Elche) sur un échantillon de pneus de voiture)

- L'influence déterminante de la qualité et l'état de la carcasse
- Quelques cas on registrés des valeurs de bruit inférieur à ceux des pneus neufs équivalents



ASPECTS À ÉVALUER DANS LE RECHAPAGE

✓ **Efficacité environnementale dans la fabrication**

- Économie d'énergie et de matériels : 70 % commerciaux - 45 % voiture
- Économie d'émissions de CO₂ : 69 % commerciaux - 52 % voiture

✓ **Efficacité environnementale dans l'usage**

- Résistance au roulement → consommation de combustible
- Bruit de roulement → contamination acoustique

✓ **Sécurité et performances**

- Résistance charge/vitesse
- Adhérence
- Durabilité et résistance à l'usure

ASPECTS À ÉVALUER DANS LE RECHAPAGE

RESISTANCE CHARGE/VITESSE

- Les mêmes essais exigés par la réglementation pour les pneus neufs et rechapés.

R108 ≈ R30

R109 ≈ R54

- Certification du système de qualité et gestion du processus de rechapage.
- Des essais annuels de conformité de production.

135 essais charge / vitesse sur des pneus rechapés réalisés en 2012 par l'UMH.

ASPECTS À ÉVALUER DANS LE RECHAPAGE

✓ **Efficacité environnementale dans la fabrication**

- Économie d'énergie et de matériels : 70 % commerciaux - 45 % voiture
- Économie d'émissions de CO₂ : 69 % commerciaux - 52 % voiture

✓ **Efficacité environnementale dans l'usage**

- Résistance au roulement → consommation de combustible
- Bruit de roulement → contamination acoustique

✓ **Sécurité et performances**

- Résistance charge/vitesse
- Adhérence
- Durabilité et résistance à l'usure

✓ **Rentabilité économique**