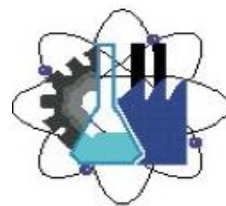




**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS**



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

**Revalorización de residuos de alfombras con
base en los principios de la economía circular**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

PRESENTA:

OMAR JUÁREZ GÓMEZ

DIRECTOR:

DR. ROBERTO FLORES VELÁZQUEZ

CUERNAVACA, MORELOS

AGOSTO 2023

COMITÉ REVISOR

Dr. Roberto Flores Velázquez

Dra. Fernanda Morales Guzmán

Dra. Carmen Heneff García Escobar

Dra. Loyda Albañil Sánchez

Ing. Karen Guadalupe Suárez Sánchez

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis se lo dedico a Dios y a mis padres Aurelia e Ismael por haberme dado el regalo de la vida y fomentado en mí el deseo de superación y amor por el conocimiento.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Roberto Flores Velázquez , por su apoyo y asesoría, quien hizo posible que concluya con éxito mi proyecto de tesis , que además aportó en mi crecimiento como alumno y persona. Mi admiración y gratitud incondicional para usted.

A los profesores la Dra. Carmen Heneff García Escobar , Dra. Loyda Albañil Sánchez , Dra. Fernanda Morales Guzmán , Ing. Karen Guadalupe Suarez Sánchez por resolver mis dudas y acompañarme con éxito durante este proyecto.

A mis maestros, compañeros de estudio y amigos, porque cada uno de ustedes ha motivado mis sueños y esperanzas en consolidar un mundo más humano y justo. Gracias a todos los que han recorrido este camino conmigo, porque me han enseñado a ser más humano y culto.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS	11
LISTA DE ABREVIATURAS.....	12
ABSTRACT.....	14
RESUMEN	15
INTRODUCCION	16
CAPÍTULO 1.	19
1.1. ANTECEDENTES.	19
1.1.1. ORIGEN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR (EC).	19
1.1.2. FUNDAMENTOS HACIA LA DEFINICIÓN DE LA EC.....	20
1.2. MARCO TEÓRICO.....	25
1.2.1. Revolución Industrial y EL: La emergencia de la cuestión ambiental – Economía circular.....	31
1.2.2. Ventajas de la EC vs EL.....	27
1.2.2.3. Nutrientes biológicos y tecnológicos.....	28
1.2.2.4. EC en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).	29
1.2.2.5. Evolución del marco de las 3'R con la EC.....	31
1.2.2.6. EC en el mundo, México y en Reino unido en la actualidad.....	31
1.2.2.7. Regulación y objetivos de la industria en el Reino Unido.....	33
1.2.3. Clasificación de residuos de alfombras en UK.	35
1.2.3.1. Fibras orgánicas y sintéticas como base para la fabricación de alfombras. .	35
1.2.4. Hidrocarburos.....	35
1.2.4.1. Derivados y aplicaciones de los hidrocarburos.	36
1.2.4.2. Impacto ambiental de los hidrocarburos.....	37
1.2.4.3. Polímeros	37
1.2.4.4. Polímeros naturales.....	38
1.2.4.5. Clasificación de polímeros.....	40
1.2.5. Polímeros sintéticos	41

1.2.5.1 propiedades y características de los polímeros.....	41
1.2.5.2. Ejemplos de polímeros	42
1.2.6. Preparación de un polímero: polimerización.	54
1.2.7. Reciclaje.....	46
1.2.8. Industria de la alfombra.	47
1.2.8.1. Características de cada material.	48
1.2.9. OPCIONES DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS DE ALFOMBRAS.	54
1.2.9.1. Residuos de alfombras en energía (a través de la incineración).	60
1.2.9.2. Reutilización de residuos de alfombras.	57
1.2.9.3. El uso de residuos de alfombras para aplicaciones de superficie ecuestre..	58
1.2.9.4. Reprocesamiento de fibras de residuos de alfombras.....	58
1.2.9.5. Reprocesamiento de plásticos de residuos de alfombras.	60
1.3. Procesos de fabricación que utilizan residuos de alfombra.....	60
1.3.1. Compuestos estructurales basados en alfombras.....	61
1.3.2. Propiedades y fracción de volumen del polímero/matriz y refuerzo.	62
1.3.2. Condiciones de fabricación y procesamiento.	64
CAPÍTULO 2.	65
2.1. JUSTIFICACIÓN.	65
2.2. OBJETIVO GENERAL.....	67
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	67
CAPÍTULO 3.	68
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.	68
3.2. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL.	69
3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS INDICADORES DE CIRCULARIDAD.	69
3.2.2. RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CASO DE ESTUDIO.	81
3.2.3. IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS DE MAYOR IMPACTO Y DELIMITACIÓN DEL ALCANCE.	82
3.2.4. PROPUESTA DE MEJORA.	83
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS.	83
3.3.1. GUÍA PARA DIAGNOSTICAR LA CIRCULARIDAD.....	85
3.3.1.2. MATERIAL CIRCULARITY INDICATOR (MCI)	87

3.3.1.3. Ejemplos Ilustrativos.....	89
3.3.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EN ESTUDIO.....	91
3.3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS.....	92
3.3.3.1. Composición de una alfombra típica.....	96
CAPÍTULO 4.....	96
4.1. RESULTADOS.....	117
4.1.2. Cálculo del indicador de circularidad del material.....	117
4.1.2.1. Cálculo de residuos irre recuperables.....	117
4.1.2.2. Cálculo de la cantidad total de residuos irre recuperables.....	118
4.1.2.3. Cálculo del Índice de Flujo Lineal.....	118
4.1.2.4. Cálculo de la Utilidad.....	119
4.1.2.5. Cálculo del Factor de Utilidad.....	119
4.1.2.6. Cálculo del Indicador de Circularidad de un Producto.....	119
4.2. Resultados de procesos de fabricación que utilizan residuos de alfombra de la bibliografía citada.....	121
4.2.1. Estudio que investiga el efecto de la adición de fibra de vidrio.....	127
4.3. CÁLCULO DE LA CIRCULARIDAD CON EL MCI.....	132
4.4. PROPUESTA DE PLAN DE ACCIÓN.....	135
4.4.1. Alcance futuro del reciclaje de alfombras.....	159
4.4.2. Estado actual del reciclaje de alfombras.....	159
4.4.3 EJEMPLO DE EMPRESA SUSTENTABLE QUE IMPLEMENTA LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	166
CAPITULO 5.....	171
5.1 CONCLUSIONES.....	179
5.2. PERSPECTIVAS.....	180
REFERENCIAS.....	182

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escuelas del pensamiento que definieron a la EC.	21
Tabla 2. Marco propuesto Van Buren sobre el modelo de las 9'R.	31
Tabla 3. objetivos que el Reino Unido se comprometió a cumplir.	34
Tabla 4. Propiedades de algunos polímeros, de excelente a regular.	49
Tabla 5. Valores caloríficos de los combustibles.	55
Tabla 6. Resistencia a la tracción y módulo de Young de diferentes materiales encontrados en alfombras.	63
Tabla 7. Nomenclatura para el cálculo del Indicador de Circularidad del Material. ...	75
Tabla 8. Ecuaciones para determinar el MCI.	76
Tabla 9. CET. (Fuente: Evans J. y Bocken N, 2013).....	97
Tabla 10. Datos generales de Reino Unido del año 2016-2019).....	100
Tabla 11. Composición porcentual de una alfombra típica.....	103
Tabla 12 Propiedades de tracción de muestras compuestas moldeadas por compresión.....	129
Tabla 13. FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO Y ESCALAS DE PRODUCCION EN UK.	136
Tabla 14. Entrada de químicos en la producción de alfombra de lana.	144
Tomado de Praire Village, 2010.	144
Tabla 15. Energía requerida a lo largo del proceso industrial de la alfombra de lana. Tomado de Praire Village 2010.	145
Tabla 16. Flujo de entrada y salida en la cadena productiva de lana de oveja. Incluye energía requerida y contaminantes. Tomado de: Praire Vilage, 2010.....	150
Tabla 17. Entradas y salidas del sistema delimitado. Fuente: Elaboración propia). 151	
Tabla 18. Inventario de materia prima utilizada para elaboración de alfombra en UK con destino a relleno sanitario.....	152
Tabla 19. Inventario de materia prima utilizada para elaboración de alfombra de lana por año en UK con destino a relleno sanitario.....	153
Tabla 20. Inventario promedio de materiales por una pieza de alfombra de lana. ..	154
Tabla 21. Inventario de insumos en la elaboración alfombra de lana.....	155
Tabla 22 - Reciclaje de alfombras establecido en cada HRRC.....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: EL vs EC.	27
Figura 2. Ciclo biológico y técnico.	28
Figura 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).	30
Figura 4 . Vertederos, residuos de alfombras.....	32
Figura 5. Hilo para fabricar alfombras (nylon, poliuretano, polipropileno entre otros polímeros sintéticos).	36
Figura 6. La quema de combustibles fósiles contribuye enormemente al cambio climático.	37
Figura 7. Los polímeros son macromoléculas formadas por monómeros.	38
Figura 8. Algodón, polímero natural, compuesto de fibras de celulosa.	39
Figura 9. La baquelita fue el primer polímero sintético.	41
Figura10. Con poliestireno se fabrican envases, aislantes y otros productos industriales. Fuente: (Concepto.De).....	42
Figura 11. Polimerización por adición.	44
Figura 12. reacción de polimerización para obtención de policloruro de vinilo.....	44
Figura 13. reacción de polimerización para obtención de polietileno.	45
Figura 14. condensación de monómeros	45
Figura 15. Reacción para sintetizar Nylon 66.....	46
Figura 16. Codificación para cada uno de los diferentes tipos de plásticos más comunes:.....	47
Figura 17. Telar mecánico, para fabricación de alfombras.....	50
Figura 18. Rutas de procesamiento involucradas en la fabricación de alfombras y los desechos asociados.....	52
Figura 19. Diseño experimental para el diagnóstico de circularidad de un proceso..	68
Figura 20. Representación esquemática de flujos de materiales.	74
Figura 21. Fases del Diagnóstico de Circularidad.	81
Figura 22. Mapa de flujos de materiales, recursos y residuos.....	82
Figura 23. Estructura de costos según las fases del Ciclo de Vida del Producto.	83
Figura 24. Etapas de un ACV. (Fuente: ISO2, 2016)	89
Figura. 26. CET Software. (Fuente: Evans J. y Bocken N, 2013).....	99
Figura 27. Construcción típica de alfombra: (a) pelo cortado (b) bucle nivelado.....	102
Figura 28. Esquema de producción de fibras por hilado en fusión.....	104

Figura 29. Spinneret.....	105
Figura 30. Esquema de hilado en húmedo de fibra acrílica.	106
Figura 31. Esquema de hilado en seco de fibra acrílica.....	107
Figura 32. Esquema de hilado por fusión de fibra poliéster.	108
Figura 33. Fibra poliéster.	109
Figura 34. Proceso de estiramiento y orientación.	109
Figura 35. máquina de anudar alfombras.....	112
Figura 36. Sección de moqueta doméstica.	113
Figura 37. Sección de moqueta utilizada en ambientes no residenciales.	113
Figura 38. Bucle uniforme; corte y bucle; felpa de terciopelo; Sajonia.	113
Figura 39. Producto terminado (alfombra).....	115
Figura 40. Flujo del proceso de producción de alfombra de lana	137
Figura 41. Diagrama de flujo de la fabricación de una alfombra de lana Fuente: (OMS,1997).....	143
Figura 42. Ciclo de vida de la fabricación de alfombra de lana.	147
Figura 43. Resultados del CET. (Fuente: Elaboración propia)	156
Figura 44 - Municipios cubiertos por WLWA	170
Figura 45. Ejemplo de señalización de contenedor de alfombra	174
Figura 46 . Alfombra a granel lista para ser recolectada de tres HRRC en Brent Re- use and Centro de reciclaj.....	176

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Clasificación de residuos de alfombras en UK.....	35
Gráfico 2. Muestra las diferentes opciones de procesamiento para los residuos de alfombras desviados del vertedero en 2013.....	55
Gráfico 3. MCI= 0.06 para residuos de alfombras con una vida útil normal.	120
Gráfico 4. MCI= 0.57 para residuos de alfombras con una vida útil al doble de lo normal con mantenimiento.	120
Gráfico 5. Comparación del módulo de flexión de compuestos basados en alfombras de la literatura.....	130
Gráfico 6. Comparación de la resistencia a la flexión de compuestos basados en alfombras de la literatura. (a) con adición de 2da fase, (a) sin adición de 2da fase.	130
Gráfico 7. Comparación del módulo de tracción de compuestos de compuestos basados de alfombras.	131
Gráfico 8. Comparación de la resistencia a la tracción de compuestos basados en alfombras de la literatura.	131
Gráfico 9. MCI = 0.17 :Estudio Gowayed et al.(1995).	132
Gráfico 10. MCI = 0.35 : Xantos et al. (2002)	132
Gráfico 11. MCI = 0.35 Estudio: Kotliar (1999).	133
Gráfico 12. MCI = 0.30 , Estudio ; Kiziltas y Gardner (2012).	133
Gráfico 13. MCI = 0.35 , Estudio: Young et al. (1998).	134
Gráfico 14. MCI = 0.30 , Estudio: Murdock et al. (2011).	134
Gráfico 15. MCI = 0.26 , Estudio: Zhang et al. (1999).	135
Gráfico 16 Toneladas de alfombras recicladas por WLWA (Fuente: London Waste& recyclin board).....	178
Gráfico 16 Toneladas de alfombras recicladas por WLWA (Fuente: London Waste& recyclin board).....	178

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS: Acrilonitrilo Butadieno Estireno.

ADN: Ácido Desoxirribonucleico

ACV: Análisis de Ciclo de Vida.

BaSO₄: Sulfato de Bario.

BM: Banco Mundial

Care: Carpet América Recovery Effort.

CaCO₃: Carbonato de Calcio.

CDF: Carpet Derived Fuel, Combustible obtenido de los residuos de alfombras.

CET: Circular Economy Toolkit - Conjunto de herramientas de Economía Circular.

CH₄: metano o el dióxido de carbono (CO₂).

CO₂: Dióxido de carbono.

C2C: Cradle to Cradle - De la cuna a la cuna.

DEFRA: Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales.

EC: Economía Circular.

EE. UU: Estados Unidos.

EL: Economía Lineal.

EMF: Ellen MacArthur Foundation - Fundación Ellen MacArthur.

EPA: Agencia de Protección Ambiental.

EPR: Responsabilidad Extendida del Productor.

FEIE: Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas.

GEi: Gases de Efecto Invernadero.

GPa: Gigapascal.

LFI: Índice de Flujo Lineal, en inglés Linear Flow Index.

MCC: Celulosa Microcristalina.

MCI: Material Circularity Indicator.

MCIp: indicador de circularidad de un producto.

MDI: Diisocianato de Metileno Difenil.

MPa: Megapascal.

Mt.: Millones de toneladas.

MTCO2: Millones de Toneladas de dióxido de carbono.

NOx: Óxido de Nitrógeno.

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible.

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

PET: Tereftalato de Polietileno.

PMMA: Polimetilmetacrilato.

PP: Polypropylene - Polipropileno

PS: Polystyrene - Poliestireno

PSI: Product Stewardship Institute.

PVC: Policloruro de vinilo.

REACH: Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas.

SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

TCO2e: Tonelada Dióxido de Carbono equivalente.

UE: Unión Europea.

UK: Reino Unido.

WTE: Waste-to-Energy.- Energia obtenida de residuos.

WARM: Waste-Reduction-Model-Warm.

ABSTRACT

The industrial revolution laid the foundations for a linear economic model that is still in force, and which consists of extracting raw materials from nature, manufacturing goods or services and discarding them, generating accumulation of waste and pollution of the environment. The circular economy is based on a paradigm shift, because in it, the waste of some is systematically converted into resources for others. The world produces more and more garbage. According to a World Bank (WB) report, the waste generated on the planet in 2016 reached 2,010Mt. (35.32% > 2012) The report predicts that, if urgent measures are not adopted, in the next 30 years, that is, by 2050, it will increase from 2,010 Mt to 3,400 Mt. According to Carpet Recycling UK (Bird, 2014), 400 000 tonnes of carpets are sent to landfill in the UK every year. By 2025, carpet waste will be banned from UK landfills because it is non-biodegradable and reduces the availability of landfills for other uses. Considering the above, different end-of-use options for carpet waste are discussed in this research. United Kingdom and seeks to evaluate the circularity of the process through circular economy tools, and thus achieve an approach that allows us to consider this "waste" as a resource.

RESUMEN

La revolución industrial sentó las bases para un modelo económico lineal que sigue vigente, y que consiste en extraer materias primas de la naturaleza, fabricar bienes o servicios y desechar, generando acumulación de residuos y contaminación del medio ambiente. La economía circular (EC) se basa en un cambio de paradigma, porque en ella, los residuos de unos se convierten sistemáticamente en recursos para otros. En el mundo se produce cada vez más basura. Según un informe del Banco Mundial (BM) los desechos generados en el planeta en 2016 alcanzaron los 2010Mt (35.32% > 2012) En el informe se prevé que, si no se adoptan medidas urgentes, en los próximos 30 años, es decir para el 2050 aumentará de 2010 Mt a 3400 Mt. Según Carpet Recycling (UK) Reino Unido (Bird, 2014), 400 000 toneladas de alfombras se envían a los vertederos en el Reino Unido anualmente. Para 2025, los residuos de alfombras estarán prohibidos en los vertederos del Reino Unido porque no son biodegradables y reducen la disponibilidad de vertederos para otros usos Considerando lo anterior, en esta investigación Se discuten diferentes opciones de fin de uso para los desechos de alfombras en el Reino Unido y se busca evaluar la circularidad del proceso mediante herramientas de la economía circular y así conseguir un enfoque que nos permita considerar este “residuo” como recurso.

INTRODUCCION

La Economía Circular es un nuevo paradigma económico que se basa en la restauración y la regeneración a través del diseño, y que pretende conseguir que los productos, componentes y recursos mantengan su utilidad y valor en todo momento.

Se basa en dos metabolismos, uno biológico y uno técnico y promueve un ciclo continuo de desarrollo positivo que conserva y mejora el capital natural, optimiza el uso de los recursos y minimiza los riesgos del sistema al gestionar una cantidad finita de existencias y unos flujos renovables. (Webster et al., A New Dynamic: Effective Business in a Circular Economy)

La economía circular se basa en un cambio de paradigma, porque en ella, los residuos de unos se convierten sistemáticamente en recursos para otros.

En el mundo se produce cada vez más basura. Según un informe del Banco Mundial (BM) los desechos generados en el planeta en 2016 alcanzaron los 2.010Mt. (35.32% > 2012) En el informe se prevé que, si no se adoptan medidas urgentes, en los próximos 30 años, es decir para el 2050 aumentará de 2010 Mt a 3400 Mt.

Los plásticos son especialmente problemáticos. Es un elemento 'no natural' que tras su uso no se reabsorbe en la naturaleza para seguir produciendo vida, sino que más bien acaba con ella: contamina océanos, afectando la vida de muchos animales. Según el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA), Inglaterra genera alrededor de 177 millones de toneladas de residuos al año.

El informe Carpet Recycling UK (Bird, 2014) muestra que, 400 000 toneladas de alfombras se envían a los vertederos en el Reino Unido anualmente las cuales en su mayoría usan como base para su fabricación diferentes polímeros comúnmente llamados plástico.

Por su naturaleza para 2025, los residuos de alfombras estarán prohibidos en los vertederos del Reino Unido porque no son biodegradables y reducen la disponibilidad de vertederos para otros usos.

Las alfombras son mezclas multicapa de diferentes polímeros y rellenos inorgánicos que son difíciles y costosos de reprocesar al desecharlos. Por lo tanto, esto conduce a un gran impulso para aumentar el reciclaje de alfombras,

En este proyecto también se revisan los diferentes procesos que utilizan desechos de alfombras como materia prima en la fabricación de materiales, compuestos estructurales. Se presentan y discuten las propiedades de tracción y flexión de estos compuestos. Estas propiedades mecánicas parecen respaldar el uso de desechos de alfombras como posibles materiales compuestos para aplicaciones de carga estructural.

Según el Product Stewardship Institute (PSI), "los estadounidenses descartan aproximadamente 2.5 millones de toneladas de alfombra cada año". La industria del reciclaje de alfombras tiene un potencial enorme, pero en este momento solo se recicla alrededor del 5% de la alfombra, 155 millones de libras.

El reciclaje de alfombras puede recuperar materiales valiosos para hacer cubiertas, materiales de construcción, piezas de automóviles, muebles y almohadillas para alfombras. Estas fibras de alfombra recicladas son materiales valiosos que pueden crear un cambio positivo a nivel local, así como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo. (Scott Cassel, 2008)

Se esperaba que Carpet América Recovery Effort (CARE) aumentara su tasa de reciclaje al 24 por ciento para 2020 en California a través de una ley de responsabilidad extendida del productor (EPR). Según esta ley, CARE paga a los procesadores de reciclaje de alfombras un subsidio por los materiales reciclados que venden para ser utilizados en nuevos productos.

Los flujos totales de materiales fueron los siguientes:

- La producción reciclada (reutilización más reciclaje) fue del 52% de las colecciones brutas
- Waste-to-Energy (WTE) representó 5%.
- El 70% de los materiales reciclados se destinaron a aplicaciones de resina y moldeo, frente al 86% en 2017
- El uso de fibra de la cara de la alfombra fue del 2% de la producción reciclada, frente al 1% en 2017
- El uso del respaldo de la alfombra fue del 5%, un 4% más que en 2017
- PC4, el carbonato de calcio extraído del uso alfombrado posterior al consumo representó el 11% de la producción. Este es el primer año para un uso significativo de PC4, lo que aumenta el rendimiento de reciclaje de otras aplicaciones que representaron el 13% de los usos reciclados.
- Los equivalentes de gases de efecto invernadero ahorrados se calcularon en 160,548 mTCO₂E utilizando el modelo WARM 2018 de la EPA: www.epa.gov/warm/versions-waste-reduction-model-warm#WARM Tool V14 o Suficiente para sacar a 34,087 automóviles de la carretera. Esto equivale a 371.703 barriles de petróleo consumidos que podrían abastecer a 19.225 hogares en un año.
- Las resinas de ingeniería constituyeron el 70% de los puntos de venta del mercado final. Considerando lo anterior, en esta investigación Se discuten diferentes opciones de fin de uso para los desechos de alfombras en el Reino Unido y se busca evaluar la circularidad del proceso mediante herramientas de la economía circular, y así conseguir un enfoque que nos permita considerar este “residuo” como recurso. (Petru, 2014).

CAPÍTULO 1.

1.1. ANTECEDENTES.

1.1.1. ORIGEN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR (EC).

La noción de circularidad tiene importantes orígenes históricas y filosóficas. La idea de retroalimentación y de ciclos en sistemas en el mundo real es vieja y surge en varias escuelas filosóficas. Resurgió en países industrializados después de la Segunda Guerra Mundial, cuando estudios computarizados de sistemas no-lineales han revelado la naturaleza compleja, conectada e imprevisible de nuestro mundo, que se parece más a un metabolismo que a una máquina.

Habido en cuenta los avances recientes, las tecnologías digitales detienen en poder de apoyar la transición hacia una economía circular mediante el aumento radical de la virtualización, desmaterialización, transparencia e inteligencia generada por ciclos de retroalimentación. La Economía Circular, a diferencia de la lineal, promueve un nuevo modelo que trata, en definitiva, de desvincular el desarrollo económico global del consumo de recursos finitos.

Sin embargo, el planteamiento circular, no es nuevo. Las grandes escuelas de pensamiento relacionadas con la Economía Circular surgieron en los años 70, pero no cobraron prominencia hasta la década de los 90.

La EC fue introducida por los responsables políticos de la Unión Europea y China como una solución a los países, empresas y consumidores para reducir el daño al medio ambiente causado por la Economía Lineal (EL) y la necesidad de lograr un cierre circular al ciclo de vida de los productos para una mejor administración de los recursos naturales (Comisión Europea, 2014; Murray et al., 2017).

Por otro lado, en el año 2015, la Comisión Europea adoptó un Plan de Acción de EC, donde los países en Europa como Dinamarca, Francia, Alemania, y el Reino Unido implementaron iniciativas, políticas y medidas que soportan la transición a la EC (European Urban Knowledge Network, 2015).

Para el año 2019 se sumaron más países europeos y se generaron nuevos empleos y oportunidades de negocio incrementándose el valor de los residuos reciclados, lo que contribuyó en los avances de los objetivos de la Agenda 2030 (Comisión Europea, 2019).

1.1.2. FUNDAMENTOS HACIA LA DEFINICIÓN DE LA EC.

Finalmente, el término “economía circular” se utilizó por primera vez en la literatura occidental en 1980 (Pearce y Turner 1990) para describir un sistema cerrado de las interacciones entre economía y medio ambiente. Por lo tanto, la economía circular es parte del estudio de retroalimentación de sistemas no lineales, sistemas vivos.

La noción de economía circular es una evolución del antiguo concepto de desarrollo sustentable, ya que contempla el progreso económico y material, pero en equilibrio con el bienestar social mediante el aprovechamiento responsable de los recursos naturales. De este modo, concilia los tres ejes fundamentales de la sustentabilidad: el económico, el ecológico y el social.

En conclusión, la economía circular es la intersección de los aspectos ambientales, económicos y sociales en un ciclo sostenible. El concepto de EC ha sido perfeccionado y desarrollado por diversas escuelas del pensamiento, filosofías y autores que dieron origen de una u otra forma al concepto que actualmente se tiene sobre EC (Prieto Sandoval al., 2018; Kirchherr et al., 2017; EMF, 2013):

En la tabla 1. Se describen algunas de las principales escuelas de pensamiento que dieron origen a la definición de economía circular.

Tabla 1. Escuelas del pensamiento que definieron a la EC.

Fuente: Fue realizada a partir de EMF, 2013; Frosch R. A. et al., 1989; Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2016; Roche, 2010; Kemp R. y Pearson P, 2007; Gunter Pauli, 2011 y Kirchherr et al., 2017).

Autor/ Escuela	Año	Descripción	Referencia
Pauli Gunter	2011	<i>Economía Azul</i> : “Una economía baja en emisiones, eficiente en el uso de los recursos y competitiva” (...) “La economía azul demuestra que podemos encontrar maneras de aplicar la física, la química y la biología con materiales renovables y mediante prácticas sostenibles, tal como hacen los ecosistemas” (...) “Utilizando los recursos disponibles en los sistemas en cascada, (...) los residuos de un producto se convierten en la entrada para crear un nuevo flujo de caja”	Gunter Pauli, 2011
Ellen Macarthur Foundation	2012	“Una Economía Circular es un sistema industrial que es restaurativo o regenerativo por intención y diseño. Reemplaza el concepto de ‘final de la vida útil’ con la restauración, se desplaza hacia el uso de energía renovable, elimina el uso de productos químicos tóxicos, que perjudican la reutilización y apunta a la eliminación de desechos a través del diseño superior de materiales, productos, sistemas, y, dentro de esto, modelos de negocio.”	EMF, 2013
Kirchherr J., Reike D. y Hekkert M.	2017	“Un sistema económico que se basa en modelos de negocio que reemplazan el concepto de 'fin de vida útil' con la reducción, alternativamente reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en los procesos de producción / distribución y consumo. Opera a nivel micro (productos, empresas, consumidores), meso nivel (parques eco-industriales) y macro nivel (ciudad, región, nación y más allá), con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible, creando simultáneamente calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras. Está habilitado por los nuevos modelos de negocio y consumidores responsables.”	Kirchherr et al., 2017
René Kemp y Peter Pearson	2007	<i>Eco-innovación</i> : “El termino eco-innovación generalmente se entiende que significa la producción, aplicación o explotación de un bien, servicio, proceso de producción, estructura organizacional o método de negocios o gestión que sea novedoso para la empresa o el usuario y que resulte, a lo largo de su ciclo de vida, en una reducción del riesgo ambiental, la contaminación y los impactos negativos del uso de recursos (incluido el uso de energía) en comparación con las alternativas relevantes.”	Kemp R. y Pearson P, 2007

Autor/ Escuela	Año	Descripción	Referencia
John Lyle	1978	<i>Diseño Regenerativo</i> : se basa en sistemas que podrían organizarse para generar fuentes de materia y energía, que a su vez pueden ser auto consumibles o aprovechados por otros sistemas.	EMF, 2013
Walter Stahel	1986	<i>Economía del Rendimiento</i> : se basa en la importancia de vender servicios en lugar de productos.	EMF, 2013
Robert Frosch y Nicholas Gallopoulos	1989	<i>Ecología Industrial o Eco-industria</i> : “el modelo tradicional de actividad industrial, en el que los procesos de fabricación individuales absorben las materias primas y generan productos para vender, además de los desechos para eliminar, debe transformarse en un modelo más integrado: un ecosistema industrial. El ecosistema industrial funcionaría como un análogo de los ecosistemas biológicos.”	Frosch R. A. et al., 1989
William McDonough y Michael Braungart	1991	<i>Cradle-to-Cradle (C2C) o de la Cuna a la Cuna</i> : “todo el material involucrado en los procesos industriales y comerciales son nutrientes, de los cuales hay dos categorías principales: técnica y biológica.”	Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2016
Janine Benyus	1997	<i>Biomímesis</i> : “Los animales, las plantas, los microbios son los ingenieros consumados. Ellos han descubierto qué funciona, qué es apropiado, y lo más importante, qué perdura aquí en la Tierra” (...) La diferencia de la biomímesis es que no se basa en lo que podemos extraer de los organismos y sus ecosistemas, sino en lo que podemos aprender de ellos.”	Roche, 2010

La economía circular es un sistema industrial de ciclos cerrados, donde se analizan los procesos para la fabricación de productos, monitoreo de entradas y salidas de materiales, con el fin de que el sistema no arroje ningún residuo, y en caso de que se generen residuos, éstos sirvan para retroalimentar otras etapas de producción.

A continuación, se describen algunas escuelas del pensamiento referidas:

Diseño regenerativo

En 1978 John Lyle desarrolló un concepto en el cual todos los sistemas podrían organizarse de forma regenerativa, tal y como ocurre en la naturaleza. Dándose así procesos que podrían renovarse o generar fuentes de materia y energía, que a su vez pueden ser auto consumibles o aprovechados por otros sistemas (EMF, 2013).

Economía del rendimiento.

En 1986, Walter Stahel a lo largo de su trabajo en el Instituto Product Life en Suiza, enfatizó la importancia de vender servicios en lugar de productos, la visión de una economía en bucles o circular y su impacto en la creación de empleo, competitividad económica, ahorro de recursos y prevención de residuos. (EMF, 2013) Sus investigaciones se centraron en cuatro objetivos principales:

- Aumentar la productividad natural de los recursos.
- Eliminación de concepto de residuo imitando el funcionamiento de la naturaleza.
- Servilización. Cambiando la venta por la prestación de servicio
- Reponer, sostener y expandir los ecosistemas para propiciar la abundancia.

C2C (Cradle to Cradle).

El químico y visionario alemán Michael Braungart junto con el arquitecto estadounidense Bill McDonough, formularon el modelo de pensamiento C2C o también conocido como de la cuna a la cuna.

Esta filosofía de diseño considera todos los materiales empleados en los procesos industriales y comerciales como nutrientes, de los cuales hay dos categorías principales: los técnicos y biológicos (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2016).

El diseño C2C percibe los procesos seguros y productivos del metabolismo biológico de la naturaleza como un modelo para desarrollar un flujo de metabolismo técnico de materiales industriales:

- Los residuos equivalen a insumos. Elimina el concepto de residuos, diseñando productos y materiales con ciclos de vida que sean seguros para la salud humana y el medio ambiente y que puedan reutilizarse perpetuamente a través de metabolismos biológicos y técnicos. Crear y participar en sistemas para recoger y recuperar el valor de esos materiales tras su uso.
- Aprovechar la energía del sol. Hacer uso de la energía renovable y maximizar el uso de la energía renovable.
- Celebrar la diversidad. Gestionar el uso del agua para maximizar la calidad, promover ecosistemas saludables y respetar los efectos a nivel local. Orientar las operaciones y las relaciones con las partes interesadas mediante la responsabilidad social.

Biomímesis.

Janine Benyus, definió su enfoque como una nueva disciplina que estudia las mejores ideas de la naturaleza y luego imita estos diseños y procesos para resolver problemas humanos. Se basa en tres principios fundamentales (EMF, 2013; Roche, 2010):

- La naturaleza como modelo: imitando formas, procesos, sistemas y estrategias para resolver los problemas humanos.
- La naturaleza como medida: utilizando un estándar ecológico para juzgar la sostenibilidad de nuestras innovaciones.
- La naturaleza como mentor: ver y valorar que la naturaleza no se basa en lo que podemos extraer de ella, sino en lo que podemos aprender del mundo natural.

1.2. MARCO TEÓRICO.

1.2.1. Revolución Industrial y EL: La emergencia de la cuestión ambiental – Economía circular.

La Revolución Industrial fue un proceso económico y social de grandes cambios, que culminaron en la configuración del sistema mundial capitalista. Si bien tuvo epicentro en Inglaterra entre los años 1760 y 1830, el fenómeno se extendió afectando a prácticamente toda la humanidad,

Si bien gran parte de los cambios fueron de índole económica, esta Revolución implicó transformaciones estructurales de la sociedad que implicaron, además, cambios culturales, políticos e ideológicos.

En dicho período, el comercio internacional jugó un papel importante, ya que potenció el crecimiento industrial, promoviendo el pasaje de formas de producción artesanal a la producción social en talleres y, más adelante, fábricas. Los avances técnicos y tecnológicos fueron muy importantes en esta etapa. La invención de la máquina a vapor, como manera de reemplazar otro tipo de energías y obtener mayor productividad, constituye uno de los hitos de la Revolución.

La invención de los telares mecánicos fue crucial en la formación de las primeras grandes fábricas y las primeras producciones a gran escala. Asimismo, este tipo de energía también revolucionó los medios de transporte de pasajeros y carga, como fueron los ferrocarriles y navíos, que traccionaron a su vez el desarrollo de la industria metalúrgica.

Como en todo proceso histórico, un hecho suscita otro, y la mejora de los medios de transporte expandió la Revolución a otros lugares del planeta.

Así como impactante, la Revolución Industrial y el modo de producción capitalista resultan fuertemente contradictorios no solo a nivel social y político, sino también por los efectos ambientales que no tardaron en aparecer.

En las últimas décadas, debido a una rápida industrialización de las economías emergentes, se ha presentado un uso elevado y continuo de recursos, siendo que la cantidad de materias primas extraídas, cosechadas y consumidas en todo el mundo aumentó más del triple desde 1970, partiendo de 27 Mt hasta llegar a 92 Mt en 2017, lo que representa un aumento del 240% (PNUMA, 2019; ONU, 2019) y se prevé que alcance los 167 Mt para 2060 (OCDE, 2018).

El impacto ambiental ligado al modelo de producción y consumo en la EL de los flujos globales de ocho materias primas (acero, aluminio, plástico, cemento, madera, cultivos y ganado), de acuerdo con el estudio Circular Economy and Environmental Priorities for Business, es del 20% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, del 95% del uso del agua y del 88% del uso del suelo (WBCSD, 2017).

Más aún, el crecimiento demográfico mundial que año tras año asciende, contribuye a la demanda y escasez de los recursos naturales.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), para el año 1950 se estimaba una población mundial de 2,500 millones de personas y en la actualidad es de más de 7,000 millones de personas, lo que representa casi el triple de población e incluso se espera que aumente a los 9,700 millones en 2050 (División de Población de la ONU, 2019).

1.2.2. Ventajas de la EC vs EL.

La EL tiene diversas desventajas, en comparación con la EC, las cuales resaltan

EL	EC
<ul style="list-style-type: none">▪ Consume materias primas vírgenes que provienen de la naturaleza y utiliza fuentes de energía de combustibles fósiles.▪ Provoca la escasez de recursos, debilitando el abastecimiento y la cadena de proveedores.▪ Genera un número creciente de residuos.	<ul style="list-style-type: none">▪ Evita la extracción de materiales vírgenes sustituyendo los insumos por materias primas recicladas o reutilizadas y promueve el consumo de energía de fuentes renovables.▪ Promueve la conservación de recursos, fortaleciendo el abastecimiento y la cadena de proveedores, promoviendo la creación de proveedores y tecnologías sustentables.▪ Reduce al máximo la generación de residuos y los reintroduce en el ciclo productivo.

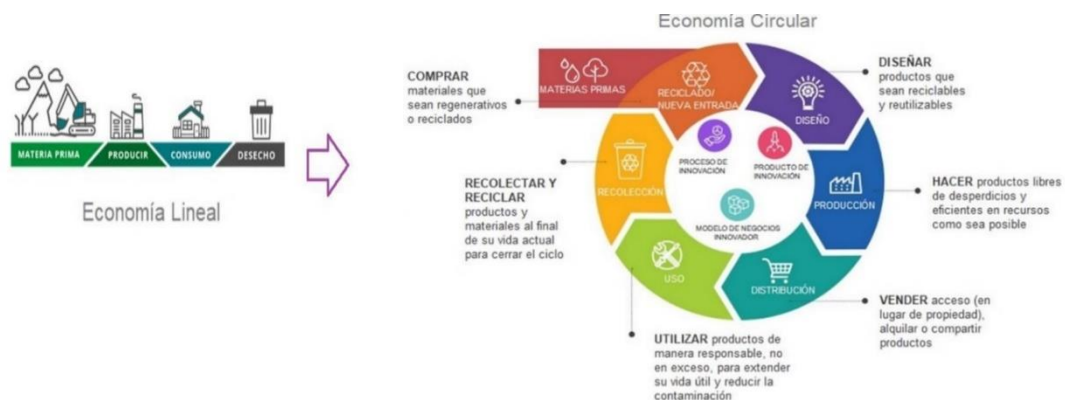


Figura 1: EL vs EC.
Fuente: (Modificado de WBCSD, 2018)

1.2.2.3. Nutrientes biológicos y tecnológicos.

Los componentes consumibles en la EC son materiales biológicos y técnicos (EMF,2013) Los nutrientes biológicos son seguros y beneficiosos, ya sea para biodegradarse naturalmente y restaurar el suelo, o para ser completamente reciclados en materiales de alta calidad para las generaciones posteriores de productos, una y otra vez, los nutrientes técnicos son productos, equipos, sus partes o componentes, los cuales son fabricados con base en un ecodiseño que los hace duraderos, resistentes y fáciles de reparar, reutilizar y reciclar (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2016).

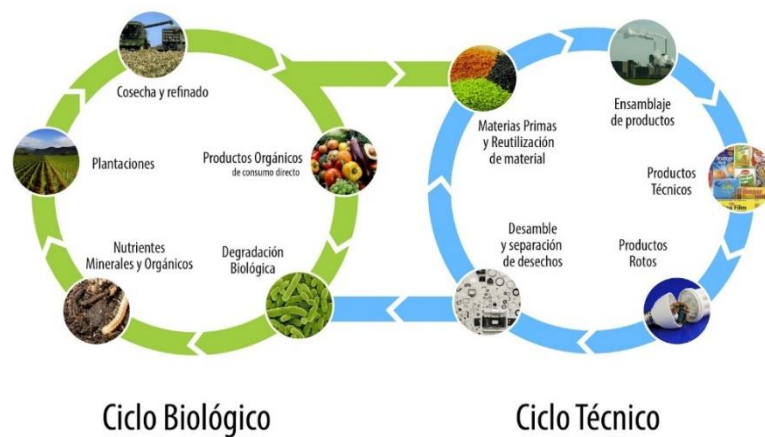


Figura 2. Ciclo biológico y técnico.
(Fuente: Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2016)

Es decir, la economía circular es reparadora y regenerativa, y pretende conseguir que los productos, componentes y recursos en general mantengan su utilidad y valor en todo momento,

La economía circular se basa en un cambio de paradigma, porque en ella, los residuos de unos se convierten sistemáticamente en recursos para otros.

Por lo tanto, es una economía de la recuperación y la reutilización, pero también, y, sobre todo, ¡la economía de la recreación! Al hacerlo, transforma en profundidad las cadenas de producción, así como los hábitos de consumo, y disocia el crecimiento del PIB de las extracciones realizadas en la naturaleza.

La economía circular multiplica la productividad de los recursos extraídos de la naturaleza: por lo tanto, cumple con los objetivos fijados por la UE en materia de eficacia en el uso de los recursos.

Su objetivo no se limita al uso óptimo del agua y de las materias primas, sino también de los recursos energéticos.

En el ámbito de la política energética, la prioridad actual es reforzar la coherencia entre los objetivos asociados a la lucha contra el cambio climático y a la seguridad e independencia energéticas.

1.2.2.4. EC en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Un avance global para el cambio del modelo hacia la EC se ve reflejado en los ODS surgidos durante la Conferencia de la ONU sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro en el año 1992. Los ODS son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad. Convoca a todos (gobiernos, sector privado y sociedad civil) y marca los retos y la hoja de ruta hasta el año 2030. (ONU, 2019)



Figura 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
(Fuente: ONU, 2019)


La transición de una EL a una EC se puede apreciar claramente en el ODS 12, referente a la “Producción y consumo responsables”. También existen otros ODS que pueden verse impactados de manera positiva con el cambio de modelo económico, tales como el ODS 6 “Agua limpia y saneamiento”, el ODS 7 “Energía asequible y no contaminante”, el ODS 9 “Industria, innovación e infraestructura”, el ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles”, el ODS 13 “Acción por el clima”, el ODS 14 “Vida submarina, el ODS” 15 “Vida de ecosistemas terrestres” así como el ODS 17 “Alianzas para lograr los objetivos” (Ruiz. E y Ruiz P., 2018). Aplicando la EC, se deben alcanzar tres objetivos: calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, como parte del fortalecimiento en la implementación de modelos de negocios que buscan un desarrollo sostenible (Murray et al., 2017)

1.2.2.5. Evolución del marco de las 3'R con la EC.

Tal como se cree, el concepto de la EC ha llevado a transitar la filosofía de las 3'R que contempla el reducir, reutilizar y reciclar (Kirchherr et al., 2017) hacia un marco de 9'R (tabla 2) que se integra por:

rechazar, reducir, reutilizar, reparar, reformar, remanufacturar, readaptar, reciclar y recuperar (Reike D. et al., 2018; Van Buren et al., 2016).

**Tabla 2. Marco propuesto Van Buren sobre el modelo de las 9'R.
(Fuente: Modificado de: Van Buren N. et al., 2016)**

 <p>Economía circular</p> <p>Economía Lineal</p>	Uso y fabricación de productos más inteligentes	R1 Rechazar	Prevenir el uso de materias primas. Rechazar materiales que contaminan o generan más residuos.
	Extender la vida útil del producto y sus partes	R2 Reducir	Eliminar el uso de materias primas. Eliminar la producción de residuos antes de crearlos.
		R3 Reutilizar	Reutilizar el producto (de segunda mano, intercambios de productos)
		R4 Reparar	Reparar y dar mantenimiento a un producto defectuoso.
		R5 Restaurar	Restaurar un producto para ser utilizado en su función original.
		R6 Re-manufacturar	Fabricar productos nuevos a partir de partes de productos antiguos.
	Aplicación útil de materiales	R7 Re-proponer	Reutilizar los productos para un propósito diferente.
		R8 Reciclar	Procesamiento de los productos desechados para extraer materiales de valor.
		R9 Recuperar	Captura de energía de la incineración o biomasa de los desechos.

1.2.2.6. EC en el mundo, México y en Reino unido en la actualidad.

A nivel global aún falta avanzar en la implementación de la EC; de acuerdo con el estudio titulado The Circularity Gap Report en el 2018 la economía global circular era 9,1% (Wit M. et al., 2018).

Para el año 2020 fue de 8.6% que, de acuerdo con este reporte, el descenso fue a causa de las altas tasas de extracción de recursos naturales, la urbanización que acumula la existencia de recursos y las bajas tasas de recuperación de residuos, las cuales son prácticas arraigadas de la EL (Schmidt C. et al., 2018).

El Reino Unido genera una media de 220 millones de toneladas de desechos al año (el 9 % del total de lo generado por la Unión Europea).

Las directrices medioambientales europeas y las medidas impulsadas por el Gobierno británico, tales como el incentivo al uso de tecnologías alternativas frente a vertederos, o la implementación de mejoras en los sistemas de gestión de los hogares y comercios, han hecho que la industria de la gestión de residuos y el reciclaje haya crecido los últimos años, alcanzándose una tasa de reciclaje del 48,5 %, muy superior a la media del 37,8 % de la UE. (Presa, 2020)



Figura 4 . Vertederos, residuos de alfombras.
Fuente: (well-spent.com)

En México la EC no había sido promovida formalmente, sino hasta que en el 2019 a nivel federal la SEMARNAT emitió el documento Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable: Cero Residuos, en donde se manifiesta como intención el trabajar

integralmente con una visión de la EC para atender el problema de los residuos en el país, transformando los tiraderos a cielo abierto en bancos de materiales para fortalecer el reciclaje y la re-manufactura (SEMARNAT2, 2019); posteriormente en diciembre de 2019, la cámara del senado emitió la Iniciativa con Proyecto de Decreto de la Ley General de Economía Circular, la cual en general promueve a las materias primas de segundo uso y desincentiva la elección de productos limitados a reciclaje o a incorporarse a una cadena económica secundaria (Cámara de senadores, 2019).

1.2.2.7. Regulación y objetivos de la industria en el Reino Unido

El Gobierno británico sigue una estrategia orientada a configurar una economía circular. Para ello, se ha construido en el país la infraestructura necesaria para gestionar los residuos de un modo más eficiente y se ha establecido un marco normativo que incentive un comportamiento sostenible (por ejemplo, con el establecimiento del impuesto al uso de vertederos).

Aproximadamente el 70 % de la legislación en materia ambiental del Reino Unido es europea, en concreto el plan de acción para contribuir a acelerar la transición de Europa hacia una economía circular, apoyado financieramente a través de los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos, Horizonte 2020, el Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas (FEIE) y el programa LIFE.

La mayor parte de los resultados medioambientales positivos del Reino Unido son fruto de los objetivos impuestos por la Unión Europea en esta materia, y se han alcanzado contando con financiación y ayudas europeas.

Hasta entonces, la política de reciclaje del Reino Unido se fundamentará en la Directiva 2008/98/CE que proporciona el marco en el que se implementa la política de gestión de residuos en toda la Unión Europea. (Presa, 2020)

En 2010/11, los residuos textiles totales generados en el Reino Unido ascendieron a no más del 2,9 % de todos los residuos. Una parte importante de estos residuos, es decir, 500.000 toneladas, se vertieron en vertederos, algunos se incineraron o exportaron y solo el 14% se recicló.

Desde entonces, el reciclaje en el Reino Unido ha mejorado marginalmente, pero todavía está muy por detrás de otros países europeos importantes, incluidos Austria, Alemania y los Países Bajos, donde el reciclaje de alfombras, entre otros materiales reciclables, está mucho más establecido. (Bird, 2014)

Según Carpet America Recovery Effort (CARE) en 2013, el 35 % de los desechos de alfombras de EE. UU. se desviaron de los vertederos a plantas de reciclaje para la producción de diversos bienes comerciales y de consumo, así como alfombras nuevas en procesos de circuito cerrado.

El 2 de diciembre de 2015, la Comisión Europea adoptó un nuevo paquete de medidas a fin de estimular la transición de Europa hacia una economía circular, consistente en la adopción de una serie de propuestas legislativas interconectadas (propuesta de directiva sobre residuos, residuos de envases, vertederos y residuos eléctricos y electrónicos). El Paquete de Economía Circular de la UE fue formalmente adoptado por el Consejo Europeo el 22 de mayo de 2018, e incluye los siguientes objetivos que el Reino Unido se comprometió a cumplir:

Tabla 3. objetivos que el Reino Unido se comprometió a cumplir.
Fuente: Extraído de Paquete de Economía Circular de la UE.

	2025	2030	2035
	55 %	60 %	65 %
• Objetivos de reciclaje para residuos de envases:			
	2025	2030	
Todo el embalaje	65 %	70 %	
Plástico	50 %	55 %	
Madera	25 %	30 %	
Metales ferrosos	70 %	80 %	
Aluminio	50 %	60 %	
Vidrio	70 %	75 %	
Papel y cartón	75 %	85 %	

1.2.3. Clasificación de residuos de alfombras en UK.

Los desechos de alfombras se pueden dividir en dos clases según su fuente de origen: (1) preconsumo y (2) post-consumo.

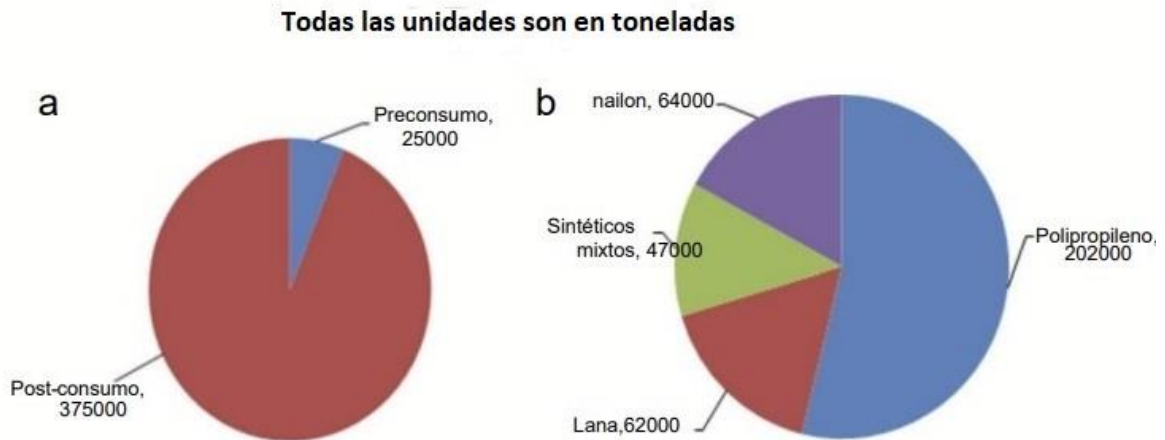


Gráfico 1. Clasificación de residuos de alfombras en UK.
Fuente: (Bird.2014)

1.2.3.1. Fibras orgánicas y sintéticas como base para la fabricación de alfombras.

1.2.4. Hidrocarburos.

El hecho de que su formación tomó millones de años de lentos procesos químicos bajo la Tierra constituye un recurso importante pero no renovable que algún día habrá de agotarse para siempre o al menos por una buena cantidad de tiempo su utilización debería darse bajo condiciones de extrema responsabilidad.

Los hidrocarburos tienen un conjunto enorme de usos para el ser humano, entre los que destaca:

La generación energética.

Gracias a su enorme capacidad de combustión, los hidrocarburos son empleados como fuente de energía para generar electricidad esto se lleva a cabo en cierto tipo de plantas eléctricas, y surte de energía tanto a hogares como a otras industrias y permite el sostén de nuestro modelo de vida.

La generación de combustible.

Su capacidad energética permite fabricar con ellos diversos tipos de combustible (gasolina, gasoil, gas natural licuado) para impulsar diversos tipos de vehículos, o para alimentar diversos artefactos para el hogar como calefactores, cocinas y calentadores que funcionan utilizando gases como butano o propano.

La obtención de plásticos.

Distintos tipos de plástico y materiales versátiles pueden obtenerse en laboratorio a partir del manejo de hidrocarburos estos materiales son tan baratos, eficaces y sencillos de fabricar que existe una gigantesca industria en torno a ellos.

Muchos hidrocarburos son componente esencial de solventes y disolventes, productos de limpieza, fertilizantes o el betún.

1.2.4.1. Derivados y aplicaciones de los hidrocarburos.



Figura 5. Hilo para fabricar alfombras (nylon, poliuretano, polipropileno entre otros polímeros sintéticos).

Fuente: Alibaba.com

1.2.4.2. Impacto ambiental de los hidrocarburos

En general se trata de sustancias tóxicas capaces de producir grandes daños ecológicos en el caso de que sean vertidos en la naturaleza, como ocurre con los derrames petroleros o las fugas de crudo, o al ser incinerados liberan gases nocivos para la salud. Reparar estos daños ambientales suele ser costoso y lento. Además, dependiendo del hidrocarburo su liberación o su combustión emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera o sea gases ricos en carbono como el metano (CH_4) o el dióxido de carbono (CO_2). Esos gases pueden destruir la capa de ozono del planeta y además bloquear el escape de la energía a través de la atmósfera.



Figura 6. La quema de combustibles fósiles contribuye enormemente al cambio climático.
Fuente:Ecologiaverde.com

1.2.4.3. Polímeros

Explicamos qué son los polímeros, su clasificación, propiedades y características. Además, los polímeros naturales y sintéticos como base para la fabricación de alfombras.

¿Qué es un polímero?

En química, los polímeros son un tipo de macromoléculas constituidas por cadenas de unidades más simples, llamadas monómeros, unidas entre sí mediante enlaces covalentes. Su nombre proviene de griego polys (“muchos”) y meros (“segmento”).

Generalmente son moléculas orgánicas de enorme importancia tanto en el mundo natural como en la industria. Entre estas moléculas se incluyen el ADN de nuestras células, almidón de las plantas, el nylon y la mayoría de los plásticos, a finales del siglo 19 e inicios del siglo 20 se descubrió cómo manipularlos.

Así se revolucionó para siempre el manejo de materiales por parte de la humanidad.



Figura 7. Los polímeros son macromoléculas formadas por monómeros.
Fuente: concepto.de.com

1.2.4.4. Polímeros naturales

Algunos de los polímeros naturales que existen como tales en la naturaleza, como biomoléculas y compuestos que integran el cuerpo de seres vivientes.

La aparición de los polímeros naturales en el mundo represento un punto importante pues complejizarían la bioquímica de la vida.

Entre ellos se incluyen la gran mayoría de proteínas, ácidos nucleicos, polisacáridos (azúcares complejas como la celulosa vegetal y la quitina de los hongos) el hule o el caucho vegetal. Existen polímeros naturales de gran significado comercial como el algodón formado por fibras de celulosas.

Celulosa: La celulosa es un hidrato de carbono que forman las paredes de las células vegetales. Es el principal polímero constituyente de las plantas y los árboles.

La celulosa se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, y se emplean para hacer telas y papel. La seda es otro polímero natural muy apreciado y es una poliamida semejante al nylon.

La lana, proteína del pelo de las ovejas, es otro ejemplo de polímero natural. El hule de los árboles de hevea y de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes.



**Figura 8. Algodón, polímero natural, compuesto de fibras de celulosa.
Fuente: (concepto.de)**

1.2.4.5. Clasificación de polímeros.

Si se clasifican según su origen, los polímeros pueden ser:

Polímeros naturales. Su origen es biológico.

Polímeros sintéticos. Son creados enteramente por el ser humano.

Polímeros semisintéticos. Son creados por transformación de polímeros naturales.

Si se clasifican según su composición, podemos distinguir entre:

Polímeros orgánicos. Poseen una cadena principal de átomos de carbono.

Polímeros orgánicos vinílicos. Semejantes a los orgánicos, pero con enlaces dobles carbono-carbono. Incluyen las poliolefinas, estirénicos, vinílicos halogenados y acrílicos.

Polímeros orgánicos no vinílicos. Poseen átomos de oxígeno y/o nitrógeno en su cadena principal, además de carbonos. Incluyen los poliésteres, las poliamidas y los poliuretanos.

Polímeros inorgánicos. Basados en otros elementos como el azufre (polisulfuros) o el silicio (la silicona).

Polímeros elastómeros. Se deforman al aumentar la temperatura, pero recuperan su forma original.

Polímeros termoestables. Cuando se elevan su temperatura se descomponen químicamente. No se deforman, es decir, no fluye el material.

Polímeros termoplásticos. Al elevar la temperatura se derriten y pasan al estado líquido, pero cuando se enfrían, vuelven a pasar al estado sólido.

1.2.5. Polímeros sintéticos



**Figura 9. La baquelita fue el primer polímero sintético.
Fuente: (concepto.de.)**

El primer polímero sintético fue creado en 1907: la baquelita, material duradero y de bajo costo. Su gran éxito industrial se debió en gran medida a su fabricación simple y económica, empleando fenol y formaldehído. Mucho se ha avanzado desde entonces en la obtención de nuevos y más potentes materiales de origen orgánico, en particular en la industria petroquímica. Los polímeros pueden crearse en laboratorio por la unión de monómeros específicos en una cadena.

Empleando para ello insumos orgánicos o inorgánicos, en condiciones Controladas de temperatura, presión y presencia de catalizadores. Así se genera una reacción en cadena o por etapas que da como resultado la generación del compuesto.

1.2.5.1 propiedades y características de los polímeros

En líneas generales, los polímeros son malos conductores eléctricos, por lo que suelen emplearse como aislantes en la industria eléctrica, por ejemplo, el plástico como envoltorio de los cables. Sin embargo, existen polímeros conductores, creados en 1974, cuyas aplicaciones aún se estudian actualmente. La temperatura, por otro lado, es un factor importante en el comportamiento de los polímeros.

A bajas temperaturas se tornan duros, frágiles, semejantes al vidrio, mientras que a temperaturas normales tienden a la elasticidad. Si la temperatura aumenta hacia su punto de fusión, algunos empiezan a perder su forma y otros pueden descomponerse.

1.2.5.2. Ejemplos de polímeros



Figura10. Con poliestireno se fabrican envases, aislantes y otros productos industriales. Fuente: (Concepto.De)

Algunos de los polímeros más conocidos y de mayor importancia humana son:

- Policloruro de vinilo.

También conocido como PVC y de fórmula general $(C_2H_3Cl)_n$, se obtiene a partir de la polimerización de unidades de cloruro de vinilo.

Es el derivado del plástico más versátil que se conoce y se usa para todo tipo de envases, calzado, recubrimientos, flexibles e incluso tuberías.

- Poliestireno.

Conocido como PS, se obtiene a partir de monómeros de estireno, y puede obtener resultados muy diversos: más o menos transparente, más o menos quebradizo, o incluso variantes muy densas e impermeables. Fue sintetizado por primera vez en Alemania en 1930 y desde entonces se producen unos 10,6 millones de toneladas anuales en el mundo.

- Polimetilmetacrilato.

Abreviado con las siglas PMMA, es un plástico típico de la ingeniería, y es de los más competitivos en cuanto a sus aplicaciones industriales, ya que es sumamente transparente y resistente.

- Polipropileno.

Referido en siglas como PP, es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino y elaborado a partir del propileno o propeno. Es empleado en empaques de alimentos, tejidos, equipos de laboratorio y películas o filmes transparentes para recubrir objetos.

- Poliuretano.

Estos polímeros se obtienen combinando bases hidroxílicas y diisocianatos, y pueden ser termoplásticos o termoestables. Se emplean frecuentemente en la industria del calzado, la pintura, las fibras textiles sintéticas, los embalajes, preservativos o componentes de máquinas y vehículos. Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas. Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas.

En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases. Un polímero, por tanto, es un compuesto orgánico, que puede ser de origen natural o sintético, con alto peso molecular.

En la vida diaria les damos el nombre general de “plástico”, porque los plásticos que usamos son polímeros. Sin embargo, debemos tener claro que existen otros tipos de polímeros que no necesariamente tienen el aspecto de un “plástico” común.

1.2.6. Preparación de un polímero: polimerización.

Para preparar un polímero, debemos enlazar entre sí una gran cantidad de monómeros de bajo peso molecular. Este proceso se denomina polimerización. Existen dos tipos de reacciones de polimerización: **adición** y **condensación**. En la polimerización por **adición**, los monómeros se unen unos con otros, de tal manera que el polímero final contiene todos los átomos del monómero inicial.

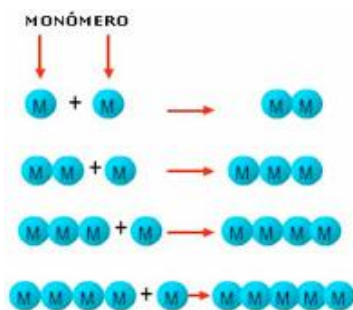


Figura 11. Polimerización por adición.
Fuente: Educarchile.cl

El **poliestireno** y el **policloruro de vinilo** son ejemplos de polímeros de adición.

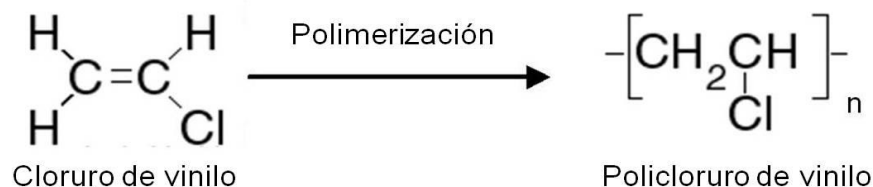


Figura 12. reacción de polimerización para obtención de policloruro de vinilo.
Fuente: Educarchile.cl

Analicemos la estructura del **polietileno**, el polímero con el que se hacen las bolsas de plástico. Este polímero se forma a partir de etileno, según la siguiente reacción:

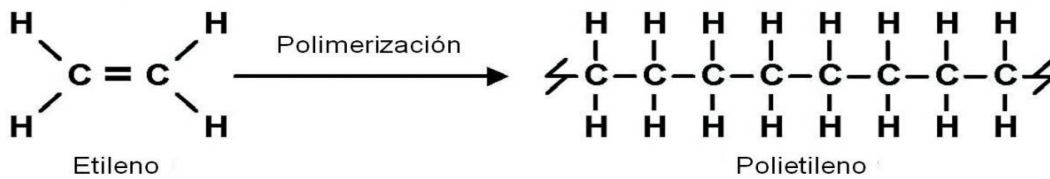


Figura 13. reacción de polimerización para obtención de polietileno.
Fuente: Educarchile.cl

El producto final (polietileno) muestra muchas unidades repetitivas similares. En la polimerización por condensación, no todos los átomos del monómero forman parte del polímero final. Para que los monómeros se unan, es necesario que una parte de ellos se pierda.

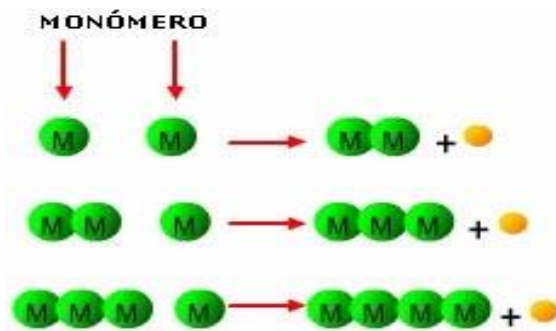


Figura 14. condensación de monómeros
Fuente: Educarchile.cl

El nylon 6,6 es un ejemplo de un polímero de condensación. Este polímero se prepara a partir de ácido adípico y hexametildiamina. Para que ambas moléculas se unan, el ácido adípico debe perder un grupo -OH, mientras que la hexametildiamina debe perder un átomo de hidrógeno.

Para ello, es necesario identificar el tipo de polímero que tenemos en nuestras manos. Se ha creado a nivel internacional una codificación para cada uno de los diferentes tipos de plásticos más comunes:

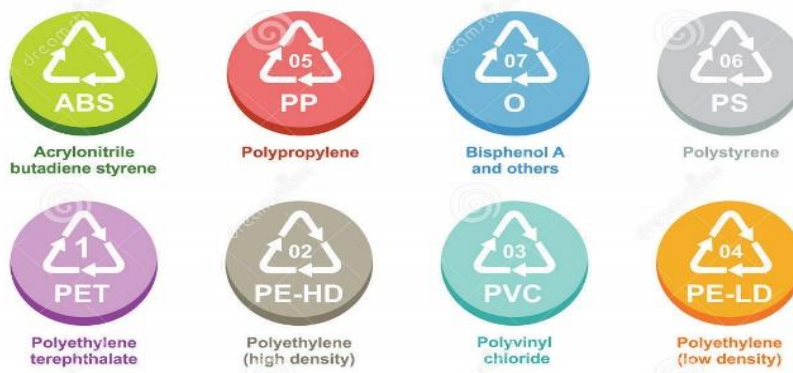


Figura 16. Codificación para cada uno de los diferentes tipos de plásticos más comunes: Cuan más bajo sea el número, más fácil será de reciclar dicho material. Fuente: Dreamstime.com

1.2.8. Industria de la alfombra.

El material básico de la industria textil es la fibra. Las fibras pueden ser Naturales y Sintéticas o Artificiales.

- Las Fibras Naturales: Pueden ser de origen: Animal (seda, lana, camello), Vegetal (algodón, lino, yute, cáñamo), Mineral (asbestos).
- Las Fibras Sintéticas o Artificiales: Pueden ser regeneradas químicamente a partir de materiales naturales no fibrosos o sintetizados por combinaciones químicas de diferentes materias primas básicas, las que habitualmente se clasifican en 2 grupos: Fibras Sintéticas Celulósicas (rayón, acetato) y Fibras Sintéticas no Celulósicas (nylon, poliéster, acrílico, olefinas).

1.2.8.1. Características de cada material.

- Lana: Es una fibra natural que soporta bien el uso (tiene buena recuperación y resistencia). Puede ser teñida en casi cualquier color sin que éste se desvanezca. Tiene alta absorción de humedad y baja generación de corriente estática. Es problemático su mantenimiento.

- Nylon: Es la fibra que se adapta mejor a cualquier tipo de uso. Puede ser teñida de cualquier color sin que éste se pierda, puede tener lustre opaco o brillante.

Lo que provoca diferentes tonalidades, es de gran elasticidad y resistente a las manchas, a la humedad y a los abrasivos; esto favorece que su “aspecto nuevo” permanezca por más tiempo.

Las alfombras confeccionadas con hilado de nylon son más resistentes a la suciedad, a las presiones del peso, a los efectos de la luz solar, menos inflamables y antiestáticas de por vida. Es antipolilla.

- Olefinas y Polipropileno: Se produce en forma de fibra cortada y filamento continuo. Es una fibra liviana y de elevada resistencia a las manchas y suciedad. Posee baja generación de electricidad estática.

Su resistencia al desgaste es alta, pero pierde la apariencia más velozmente que otras fibras colocadas en ambientes cuyo tránsito es intenso. Baja absorción de humedad y rápido secado (se puede usar en baños).

- Poliéster: Se produce generalmente en forma de fibra cortada. Es una fibra poco utilizada en la fabricación de alfombras, debido a su bajo índice de recuperación (con el uso pierde rápidamente su aspecto original) y a su poca afinidad a las tinturas. Es resistente a derivados químicos. Baja resistencia al doblamiento

- Acrílicos: buena resistencia a la abrasión. Se produce en forma de fibra cortada. El acrílico es más resistente al desgaste y las manchas que la lana, pero es un material combustible y tóxico. En general, tiene buena recuperación y resistencia a la abrasión, excepto en alfombras demasiado altas, ya que las fibras, una vez que se aplastan, no tienen posibilidad de recuperarse. Baja resistencia a la acción de aceites y productos químicos. Mezcla fácil con otras fibras. Antipolilla. Resistente al moho. Baja generación de electricidad estática.

Tabla 4. Propiedades de algunos polímeros, de excelente a regular.
Fuente: Educarchile.cl

Tipo de fibra	Decoloración	Estática	Resistencia a la llama	Resistencia al roce	Resistencia al aplastamiento
Acrílico	2 a 3	2	2	2	2,5
Poliéster	2 a 3	1,5	1,5	1,5	1,5
Poliamida	2 a 3	3	1	1	1
Polopropileno	1	1,2	1,5	1,2	3
Oleofina	1	1,2	1,5	1,2	1,5
Lana (vellón)	1,2		1,2	1,5	1,2

1= Excelente

2= Bueno

3= Regular

Para deducir una medida precisa de la cantidad de residuos generados en la fabricación de moquetas, primero y ante todo deben identificarse las técnicas de producción y deben examinarse cuidadosamente los diversos procesos preparatorios a través de los cuales se generan los residuos que conducen al producto final.

En general, existen cuatro métodos principales mediante los cuales se producen las alfombras. Incluyen.

(1) Alfombras tejidas: una forma dominante de producción hasta fines de la década de 1950, producida a un precio relativamente bajo. es decir, 70 filas por minuto;

(2) Alfombras tufting: desarrolladas por EE. UU. e introducidas en Europa en la década de 1950, con una producción de velocidad de no menos de 2000 filas por minuto;

(3) Perforación con agujas: un método por el cual las agujas en forma de gancho crean nudos internos dentro de la estructura y/o se consolidan con adhesivos a velocidades de producción bastante bajas a moderadas.

(4) Otros, incluidas las alfombras anudadas a mano, que son muy lentas.



Figura 17. Telar mecánico, para fabricación de alfombras.
Fuente: (Alamys.es)

En general, hoy en día, 76 % de todas las alfombras se producen con la tecnología de mechones, 12 % con la técnica tejida, 9 % con punzonado y el 3 % restante con otros métodos de fabricación, incluido el anudado a mano. (Gandhi, K.,1995)

Para cuantificar los desechos generados desde la etapa inicial de producción de fibra hasta la alfombra terminada. (Miraftab et al.1999) publicaron un artículo hace algunos años, que ilustró varios procesos involucrados en la fabricación de alfombras con especial énfasis en las alfombras tufting y la cuantificación de los residuos generados a lo largo de toda la línea de producción.

El gráfico de esa publicación se muestra en la Fig. 18. Al usar fibras naturales como la lana, se perdería hasta un 5% de la lana durante la eliminación de ramitas y grasa. Esta pérdida es menor cuando se utilizan a menudo fibras sintéticas y asciende al 2%-3%.

Sin embargo, en la producción sintética, existe un mayor potencial en la generación de residuos debido al proceso de polimerización, las tasas de conversión, el final de las tandas y las roturas que ascienden a no menos del 15 % de residuos. Se producen pérdidas adicionales cuando las fibras no se enrollan a las longitudes correctas y se empaquetan mientras están bajo tensión y se someten a varios ajustes, es decir, el 3%. El método de fabricación de mechones también genera desechos debido al arrastre, la pérdida de hilo debido a roturas y los hilos sobrantes en las filetas.

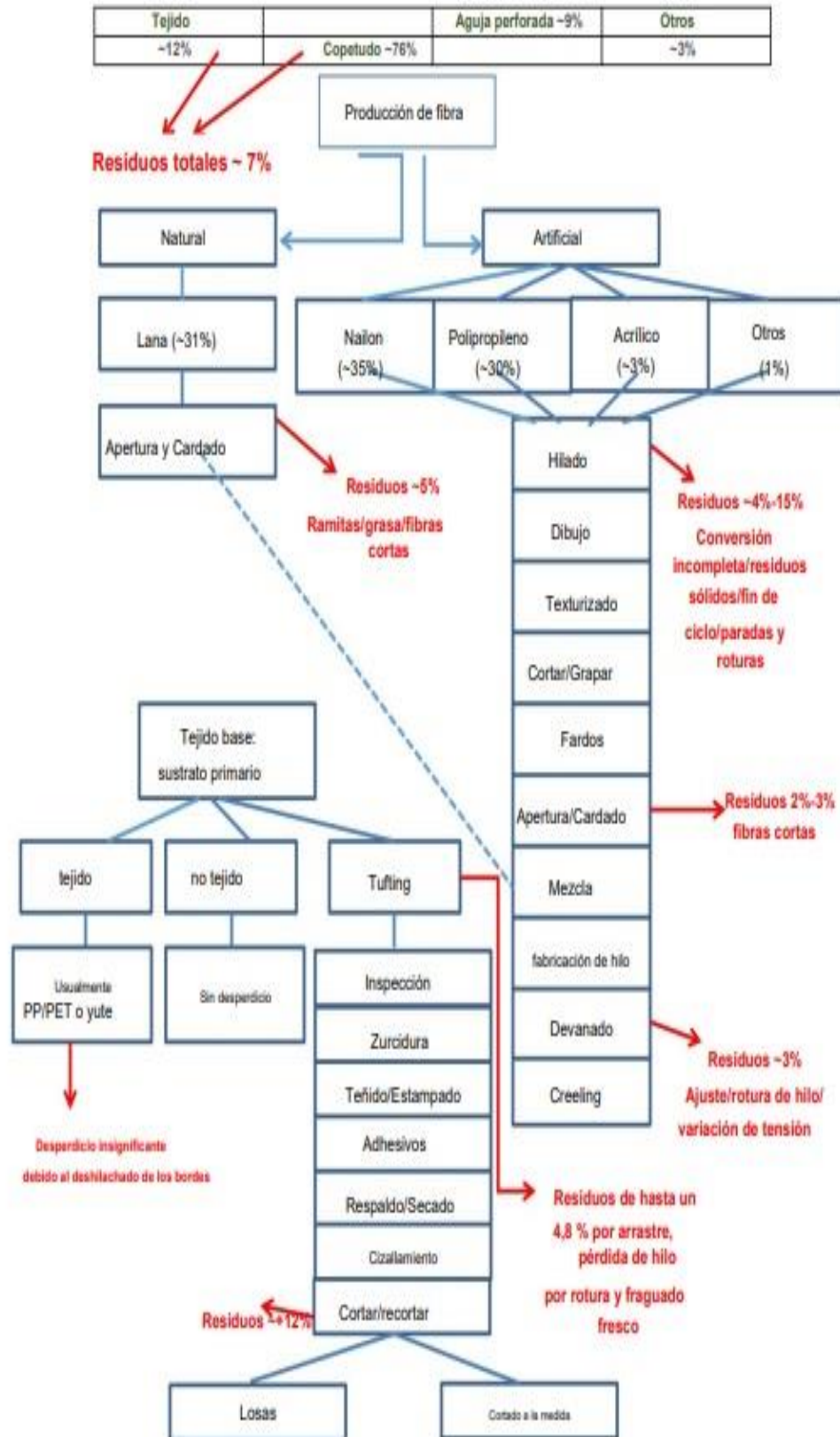


Figura 18. Rutas de procesamiento involucradas en la fabricación de alfombras y los desechos asociados.

Fuente: (Miraftab et al.1999)

Comparativamente, los métodos de fabricación tejidos y no tejidos conducen a una menor pérdida fibrosa que las alfombras tufting y, por tanto, generan menos residuos. Los desechos de alfombras post-consumo son, con mucho, la mayor cantidad de desechos en comparación con los desechos industriales o pre-consumo.

Las alfombras post-consumo surgen como resultado del cambio directo de las alfombras utilizadas en oficinas, hoteles, apartamentos u hogares. Por lo tanto, pueden variar mucho en términos de calidad, limpieza, tipos de materiales utilizados, antigüedad y cantidad.

En general, existen cuatro métodos principales mediante los cuales se producen las alfombras. Incluyen la mayor cantidad de desperdicio durante el corte y el recorte del producto final suele estar presente, es decir, durante el ajuste, donde el desperdicio puede llegar al 12 %, si no más.

Este residuo es potencialmente el más valioso dados los diversos procesos productivos a los que ha sido sometido. Sobre la base de estas estimaciones, el desperdicio total no es inferior al 7%.

Esto significa que, por cada mil millones de libras esterlinas de alfombras producidas, hay potencialmente ingresos por valor de 70 millones de libras esterlinas que se desperdician.

Dado que el valor global del mercado de alfombras está en la región de \$ 270 mil millones o ~ £ 216 mil millones [5], el valor perdido en forma de desperdicio no es inferior a \$ 18,9 mil millones o £ 15,1 mil millones, una suma considerable.

Para 2020, se esperaba que el valor global del mercado de alfombras alcanzara los \$332 mil millones. (Bird, 2013; Mirafatab et al., 1999; Tousey, 2011).

1.2.9. OPCIONES DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS DE ALFOMBRAS.

1.2.9.1. Residuos de alfombras en energía (a través de la incineración).

La recuperación de energía de los residuos de alfombras mediante la incineración implica la trituración de las alfombras, que posteriormente se utilizan como combustible para reemplazar las fuentes tradicionales, como el carbón, para su uso en hornos de cemento o calderas (Bird, 2013; Mirafteb et al., 1999; Tousey, 2011).; Bolden et al., 2013).

El gráfico 2. Muestra las diferentes opciones de procesamiento para los residuos de alfombras desviados del vertedero en 2013. Incluyen: (a) recuperación de energía (a través de incineración) (b) reutilización de alfombras, (c) aplicaciones de superficies ecuestres (d) reprocesamiento de fibras y (e) reprocesamiento de plásticos

La recuperación de energía representó el porcentaje más alto (58%) entre las opciones de procesamiento de residuos de alfombras (ver Fig. 2).

El combustible obtenido de los residuos de alfombras se conoce como Carpet Derived Fuel (CDF) (Jain et al., 2012).

La Tabla 5 muestra una lista de los valores caloríficos de diferentes fibras en comparación con los combustibles comunes. Es evidente que los valores de energía calorífica de las fibras de polipropileno y polietileno son similares a los del Diesel y la nafta. El poder calorífico de las fibras de poliéster y cloruro de polivinilo es similar al de la madera. Además, el valor calorífico del nailon es aproximadamente igual al del carbón, que se utiliza en los hornos de cemento. Estos resultados muestran que las fibras de las alfombras representan fuentes útiles de combustible ya que tienen valores caloríficos comparables a los combustibles comunes. Si bien esta recuperación de energía puede ser factible para todos los tipos de desechos de alfombras, el problema asociado con la utilización de desechos de alfombras en la producción de CDF es la

generación de desechos de cenizas y gases tóxicos (Jain et al., 2012; Mirafteb et al., 1999; Siddique et al., 2008).

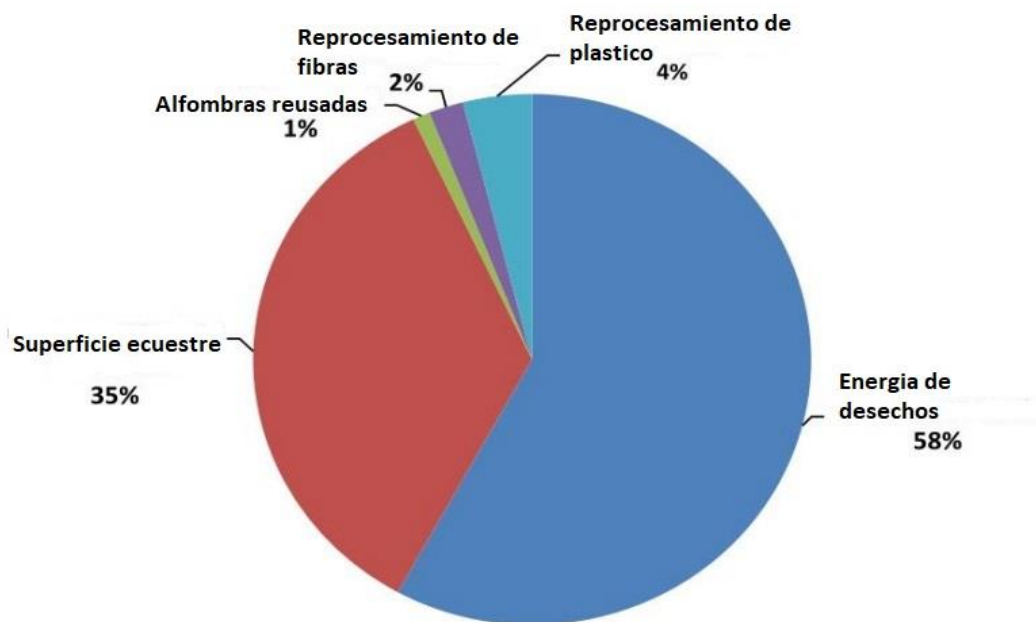


Gráfico 2. Muestra las diferentes opciones de procesamiento para los residuos de alfombras desviados del vertedero en 2013
 Fuente (Bird.2014)

Tabla 5. Valores caloríficos de los combustibles.
 Fuente: (Bird.20141)

Fuente de combustible	Poder calorífico (MJ/kg)
Nylon	29
fibra de polipropileno	46
Polietileno	46
Fibra de poliéster	19–30
Fibra de cloruro de polivinilo	20 46
Diesel	16–21
Madera	42–46
Nafta	30
Carbón	

Los residuos de ceniza generados se deben a la alta fracción (37%) de carbonato de calcio en las alfombras (Realff et al., 2005; Tousey, 2011).

Los residuos de cenizas se envían a vertederos, lo que puede provocar la contaminación de las aguas subterráneas y del suelo debido a la presencia de metales pesados como el plomo y el cadmio (Siddique et al., 2008).

Sin embargo, si los residuos de alfombras se utilizan como fuente de combustible en los hornos de cemento, los residuos de ceniza generados pueden utilizarse como materia prima en la producción de cemento (Realff et al., 2005; Tousey, 2011; Lemieux et al., 2004). Bolden et al. (2013) y Jain et al. (2012) señalan que los incineradores de desechos generan más emisiones de gases tóxicos que las centrales eléctricas alimentadas con carbón, petróleo o gas natural.

Un estudio realizado por Lemieux et al. (2004) mostró un aumento del 110 % en las emisiones de NO de las alfombras de fibra frontal de nailon en comparación con el carbón.

Estas mayores emisiones de NOx son el resultado de un mayor contenido de nitrógeno en la alfombra de nailon en comparación con el carbón (Tousey, 2011; Lemieux et al., 2004). Realff et al. (2005) también realizaron estudios que indican que las emisiones de CO de las alfombras son de dos a tres órdenes de magnitud mayores que las del carbón.

No obstante, la combustión ayuda a desviar los desechos de alfombras del vertedero, lo que reduce la cantidad de metano generado (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2002). DEFRA (Departamento de Medio Ambiente, Alimentos y Asuntos Rurales, 2013) también afirma que la recuperación de energía presenta más beneficios ambientales en comparación con los vertederos.

1.2.9.2. Reutilización de residuos de alfombras.

Las alfombras se retiran de los hogares y negocios por varias razones que incluyen: estar manchadas, desgastadas, sucias, dañadas por el fuego o por un cambio de estilo (Wang et al., 2003; Biehl et al., 2007).

Sin embargo, Biehl et al. (2007) también afirmaron que las alfombras desechadas rara vez se desgastan y que aún pueden reutilizarse.

El proceso de reutilización suele implicar la limpieza, el recorte y la recoloración para un uso de "segunda vida" (Wang et al., 2003).

La reutilización se considera el enfoque más rentable para el reciclaje y se considera la opción 'más favorecida' entre las opciones de procesamiento de residuos de alfombras (Bird, 2014, 2013; Mihut et al., 2001).

Esto conduce a importantes ahorros en el consumo de materias primas, energía y reducciones significativas en las emisiones de gases de efecto invernadero (Bird, 2014; Waste and Resources Action Programme, 2012a).

No obstante, la reutilización de alfombras representó solo el 1% del total de opciones de procesamiento de residuos de alfombras en 2013 (ver gráfico 2). Su reutilización depende de la condición física en servicio de los residuos de alfombras y de la accesibilidad a los centros de procesamiento de reutilización (Biehl et al., 2007; Waste and Resources Action Programme, 2012b). La ubicación geográfica de los desechos de alfombras es importante, ya que se pretende minimizar los costos de transporte a las instalaciones locales de reutilización (Smith, 2013).

1.2.9.3. El uso de residuos de alfombras para aplicaciones de superficie ecuestre.

El uso de desechos de alfombras en superficies ecuestres representó el 35% del total de opciones de procesamiento de desechos de alfombras en 2013 (Bird, 2014). Esta aplicación consiste en triturar la fibra sintética de desecho de alfombras y mezclarla con arena y migas de caucho (derivadas de llantas de desecho).

(Fatahi et al., 2012). También implica la clasificación de los residuos de alfombras en fibras naturales y sintéticas porque solo estos últimos materiales se utilizan para superficies ecuestres (Waste and Resources Action Programme, 2014).

1.2.9.4. Reprocesamiento de fibras de residuos de alfombras.

La reprocesamiento de fibras de desechos de alfombras representó el 2 % del total de opciones de procesamiento de desechos de alfombras en 2013 (Bird, 2014). Esta opción de procesamiento de desechos de alfombras se refiere a la despolimerización.

Que implica que la alfombra se disuelva en un solvente a alta temperatura que provoca la separación de las fibras frontales de los otros componentes de la alfombra (Jain et al., 2012). Diferentes técnicas de despolimerización fueron discutidas por Mihut et al. (2001), todos los cuales dan como resultado la recuperación del nylon de los desechos de alfombras; tiene la misma calidad que el nylon original utilizado (Mihut et al., 2001).

Los procesos de despolimerización implican la recuperación de caprolactama (monómero de nylon) que luego se vuelve a polimerizar uniando las unidades de monómero en nuevos productos de nylon (Mihut et al., 2001; Strong, 2008).

Los nylons reciclados se utilizan luego en la producción de alfombras nuevas (Wang et al., 2003). La desventaja de esta opción de reciclaje es que solo se recicla la fibra

frontal de nailon, que es aproximadamente la mitad de su peso (Fishbein, 2000), mientras que los componentes restantes de la alfombra (es decir, soportes y adhesivo) se envían al vertedero o se incineran (Miraftab y Mirzababaei, 2009).

Además, la regeneración de las fibras frontales de nailon es un proceso costoso que incluye un proceso previo que consiste en clasificar los residuos de alfombras según sus fibras frontales (Mihut et al., 2001; Jain et al., 2012). Además, Miraftab et al. (1999) afirmaron que el proceso de utilización de fibra frontal reciclada a través de la despolimerización en la producción de alfombras nuevas puede ser más costoso que una ruta típica de fabricación de alfombras.

El reprocesamiento de fibras de residuos de alfombras también se relaciona con el desarrollo de productos textiles como el fieltro que se utiliza como base para alfombras.

Los estudios (Miraftab et al., 2005; Rushforth et al., 2005) han confirmado que se pueden fabricar bases de moqueta con buenas propiedades de aislamiento acústico a partir de una mezcla de aglomerante SBR con losetas de moqueta granuladas de desecho que tienen un respaldo de PVC y fibra frontal de nailon/polipropileno.

También vale la pena señalar que la adición de fibras de alfombras sintéticas al suelo y al hormigón mejora sus propiedades estructurales de soporte de carga (Wang, 2006b).

Por ejemplo, estudios (Ucar y Wang, 2011; Wang et al., 1994) muestran que la adición de fibras de desecho de alfombras (nylon y polipropileno) al concreto aumentó su tenacidad y ductilidad. Además, los estudios (Wang, 2006b; Miraftab y Lickfold, 2008; Murray et al., 2000) muestran que las fibras de desecho de alfombras recicladas reforzadas en el suelo aumentan significativamente su resistencia a la compresión.

1.2.9.5. Reprocesamiento de plásticos de residuos de alfombras.

El reprocesamiento de plásticos implica el uso de desechos de alfombras en soluciones de plástico de ingeniería. El reprocesamiento de plásticos representó alrededor del 4 % del total de opciones de procesamiento de desechos de alfombras en 2013 (Bird, 2014). Este enfoque es rentable en comparación con los costosos procedimientos de separación y reprocesamiento de fibras (Vaidyanathan et al., 2013; Mihut et al., 2001; Wang, 2006a; Wang et al., 2003).

El proceso implica la trituración de desechos de alfombras a altas temperaturas, que luego se extruyen para formar una mezcla combinada que se utiliza en la fabricación de termoplásticos moldeados por inyección (Jain et al., 2012). Desafortunadamente, la mezcla combinada puede consistir en diferentes plásticos inmiscibles, como nailon y polipropileno, lo que da como resultado propiedades mecánicas deficientes (Wang et al., 2003).

Sin embargo, se pueden usar agentes aglutinantes poliméricos (a veces denominados compatibilizadores, agentes compatibilizantes o agentes de acoplamiento) para mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto resultante (Wang et al., 2003). Las técnicas convencionales de procesamiento de plástico incluyen el moldeo por inyección, la extrusión y el moldeo por compresión (Strong, 2008).

1.3. Procesos de fabricación que utilizan residuos de alfombra.

Se han desarrollado varios tipos de procesos de fabricación que utilizan residuos de alfombras como materia prima en la fabricación de compuestos (Jain et al., 2012; Gowayed et al., 1995; Xanthos y Dey, 2001; Xanthos et al., 2002; Kotliar, 1999; Kiziltas

y Gardner, 2012; Young et al., 1998; David et al., 1996; Murdock et al., 2011; Muzzy, 2006; Zhang et al., 1999).

La sección 2 se centra en algunos de los enfoques innovadores en la fabricación de compuestos estructurales de desecho de alfombras. Las propiedades mecánicas de estos compuestos también se presentan y discuten en el capítulo 4 como resultados.

1.3.1. Compuestos estructurales basados en alfombras.

Los materiales compuestos, suelen estar compuestos por un aglutinante o matriz que rodea y mantiene el refuerzo en su lugar (Strong, 2008). Las diferentes propiedades de la matriz y los refuerzos contribuyen sinérgicamente a las propiedades generales del compuesto (Strong, 2008).

Un objetivo principal en la fabricación de compuestos basados en alfombras es lograr un compuesto resultante adecuado para aplicaciones de soporte de carga.

El desarrollo de estos compuestos con buenas propiedades estructurales mejorará un camino constante para los desechos de alfombras y proporcionará nuevos materiales para aplicaciones de carga.

La resistencia y el módulo:

Son dos propiedades estructurales vitales en las aplicaciones de soporte de carga. La resistencia de un material es la tensión máxima que puede soportar antes de la fractura, mientras que el módulo es una medida de la rigidez o la resistencia de un material a la deformación elástica (Callister y Rethwisch, 2007).

La alfombra puede incluir materiales como polipropileno, nailon, polietileno, cloruro de polivinilo (PVC), poliéster, tereftalato de polietileno (PET), lana, poliuretano, lana y caucho de estireno-butadieno (SBR).

La resistencia a la tracción y el módulo de Young de estos materiales de alfombras en bruto, así como otros materiales de matriz de uso común, se enumeran en la Tabla 6.

Solo hay unos pocos estudios que han examinado las propiedades mecánicas de los compuestos estructurales basados en alfombras. En la sección de resultados se revisan las propiedades mecánicas resultantes del proceso de fabricación de dichos compuestos.

Las muestras compuestas a base de alfombras tienen sus propiedades de tracción y flexión determinadas a partir de pruebas realizadas de acuerdo con las normas ASTM D638 (ASTM, 2010) y D790 (ASTM, 2002) respectivamente.

Las variaciones en las propiedades mecánicas de los compuestos basados en alfombras pueden atribuirse a los factores que se analizan a continuación:

1.3.2. Propiedades y fracción de volumen del polímero/matriz y refuerzo.

Las propiedades del compuesto dependen de la adhesión interfacial entre el polímero/matriz y el refuerzo. Una buena adhesión interfacial da como resultado composites con buenas propiedades mecánicas. Además, sus diferentes propiedades distintas contribuyen a las propiedades del compuesto resultante (Strong, 2008).

La fracción de volumen de la matriz o el refuerzo puede afectar las propiedades de los compuestos basados en alfombras. Por ejemplo, los estudios (Muzzy, 2006; Zhang et al., 1999) han demostrado que aumentar el volumen de refuerzo rígido, como las fibras de vidrio, da como resultado un aumento en las propiedades de rigidez y resistencia de los compuestos basados en alfombras.

Compatibilidad y miscibilidad de los polímeros involucrados: como se discutió anteriormente, las alfombras son mezclas de múltiples capas de diferentes polímeros. Durante la extrusión o el mezclado por fusión de alfombras, dos polímeros inmiscibles como el polipropileno y el nailon pueden dar lugar a compuestos con bajas propiedades mecánicas (Wang, 2006a). Sin embargo, se puede utilizar la adición de un agente aglutinante, una matriz o un refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto resultante.

Tabla 6. Resistencia a la tracción y módulo de Young de diferentes materiales encontrados en alfombras.

Fuente: Datos extraídos de MirafTAB et al. (1999), Wang et al. (2003) y Wang (2010).

Polímero	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)
polipropileno	50-70	1,2-1,7
Nylon	60-110	2-3,5
Poliétileno de baja densidad	7-17 20-	0,15-0,24
Poliétileno de alta densidad	37 40-	0,55-1,0
Cloruro de polivinilo (PVC)	60 45-	2,4-3,0
Poliésteres	85 50-	1,3-4,5
Tereftalato de polietileno (PET)	80 40-	2,2-3,5
Lana	200 25-	3,9-5,2
Poliuretano	51 12-	0,002-0,03
Caucho estireno-butadieno (SBR)	21 40-	0,002-0,010
Epoxiesia	85 35-55	2,1-5,5 8
Fenol formaldehídoa		

1.3.2. Condiciones de fabricación y procesamiento.

Existen diferentes procesos de fabricación para la producción de compuestos basados en alfombras, incluidos el moldeo por inyección, la extrusión, el moldeo por compresión y el moldeo por transferencia de resina.

Estos procesos se llevan a cabo a diferentes temperaturas y presiones que pueden dar lugar a variaciones en las propiedades mecánicas de los compuestos a base de moqueta.

La presencia de fallas (como vacíos) también puede atribuirse a las condiciones de procesamiento, que a su vez afectan las propiedades mecánicas del compuesto.

- Tipo/fuente de desechos de alfombras: los desechos de alfombras provienen de diferentes fuentes que están expuestas a diferentes condiciones físicas en servicio.

Esto da lugar a variaciones en los diferentes residuos de alfombras (como la presencia de partículas de suciedad, impurezas o productos químicos) que se utilizan como materia prima en la fabricación de compuestos, lo que, a su vez, provoca variaciones en las propiedades mecánicas del compuesto resultante.

Además, las alfombras pueden estar hechas de diferentes materiales que tienen diferentes propiedades mecánicas (ver Tabla 6).

Por tanto, las propiedades mecánicas del material compuesto estructural de desecho de moqueta resultante pueden verse afectadas por la composición y las propiedades mecánicas de los constituyentes de la moqueta utilizada.

CAPÍTULO 2.

2.1. JUSTIFICACIÓN.

Solo en el Reino Unido, se informa que más de 400 000 toneladas de moquetas usadas se vierten en los vertederos cada año y solo el 14% se recicla. (Bird, 2014). Esta es una carga enorme para la cantidad de vertederos disponibles dada la gran relación volumen-peso de las alfombras y su posterior degradación, o la falta de ella, con un impacto duradero en el medio ambiente, incluido el aire, el suelo y el agua.

Esta es claramente una práctica indeseable, particularmente porque la cantidad de vertederos en el Reino Unido se ha reducido drásticamente desde su pico de 3400 en 1994 a menos de 2000 en 2016. (Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, 2014b). y quizás, lo que es más importante, el Reino Unido bajo la directiva europea ha sido obligado a reducir todos los residuos que van a vertederos para 2020 hasta en un 55 %. El impuesto actual sobre los vertederos es de 84,40 libras esterlinas por tonelada, habiendo aumentado muchas veces desde 7 libras esterlinas por tonelada en 1996.

Según de Bird (2014). 16 % de los residuos generados por alfombras en reino unido son de origen preconsumo es decir 25,000 toneladas. En general, hoy en día, ~76 % de todas las alfombras se producen con la tecnología de mechones, ~12 % con la técnica tejida, ~9 % con punzonado y el ~3 % otros.

Para cuantificar los desechos generados desde la etapa inicial de producción de fibra hasta la alfombra terminada. (Miraftab et al.2014). Publicaron un artículo hace algunos años, que ilustró varios procesos involucrados en la fabricación de alfombras con especial énfasis en las alfombras tufting y la cuantificación de los residuos generados a lo largo de toda la línea de producción. Sobre la base de estas estimaciones, el desperdicio total no es inferior al 7%.

Esto significa que, por cada mil millones de libras esterlinas de alfombras producidas, hay potencialmente ingresos por valor de 70 millones de libras esterlinas que se desperdician. El valor global del mercado de alfombras está en ~ £ 216 mil millones, el valor perdido en forma de desperdicio no es inferior £ 15,1 mil millones, una suma considerable. Para 2020, se esperaba que el valor global del mercado de alfombras alcanzara los \$332 mil millones. El desafío de lidiar con los desechos y minimizar su huella en nuestro planeta se ha convertido en un problema apremiante en el siglo XXI y los desechos de alfombras, que representan la mayor relación volumen-peso dentro del sector textil, están al frente de este desafío.

Dado el aumento promedio mundial del 4,5 % en la producción de alfombras y las ventas subsiguientes es poco probable que la amenaza de los desechos de alfombras desaparezca o incluso se reduzca, a menos que se tomen compromisos serios a nivel político, técnico y social. (Freedonia,2014)

Para comprender mejor el problema de los desechos de alfombras y cómo se generan, en esta investigación se contabilizan los residuos generados con un enfoque sistemático desde las primeras etapas de producción y los procesos hasta los puntos de eliminación parcial o total y el impacto ambiental involucrado en el proceso. Así como también se discuten algunas propiedades mecánicas de compuestos fabricados a base de residuos de alfombras. Buscando cerrar el ciclo de vida del producto.

La EC es una estrategia que puede contribuir para alcanzar un desarrollo sostenible que provee beneficios económicos, sociales y ambientales. Con fundamento a lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta investigación es identificar estrategias para minimizar los impactos ambientales involucrados en la disposición final de residuos de alfombras en UK y plantear un enfoque que nos permita considerar este “residuo” como recurso atendiendo el problema real.

Claramente, si se va a abordar el reciclaje de alfombras de manera seria, es necesario cambiar mucho en la tecnología de producción de alfombras, el compromiso del gobierno en forma de inversión, legislaciones y conciencia del consumidor.

2.2. OBJETIVO GENERAL.

- Analizar y evaluar el proceso de disposición final de residuos de alfombras en Reino Unido, con enfoque especial en las alfombras fabricadas con lana, para identificar su circularidad y plantear mejoras en las alternativas de disposición final con base en los principios de la EC.

2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Hacer la búsqueda de los instrumentos metodológicos apropiados para realizar la evaluación de circularidad del proceso productivo con potencial para revalorizar sus residuos.
- Determinar la circularidad del proceso de disposición final de residuos de alfombras de lana en UK mediante las metodologías de circularidad determinadas.
- Presentar algunos de los impactos ambientales que implica la disposición final de residuos de alfombras.
- Desglosar algunas herramientas que evalúan la circularidad de un proceso, producto, servicio o empresa, con enfoque específico en las herramientas de la fundación Ellen MacArthur.
- Identificar las áreas de oportunidad del proceso que son susceptibles a mejorarse con base en los principios de la EC.
- Proponer alternativas circulares de acuerdo con los principios de la EC.

CAPÍTULO 3.

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.

El presente trabajo, se desarrollará bajo el siguiente diseño experimental.

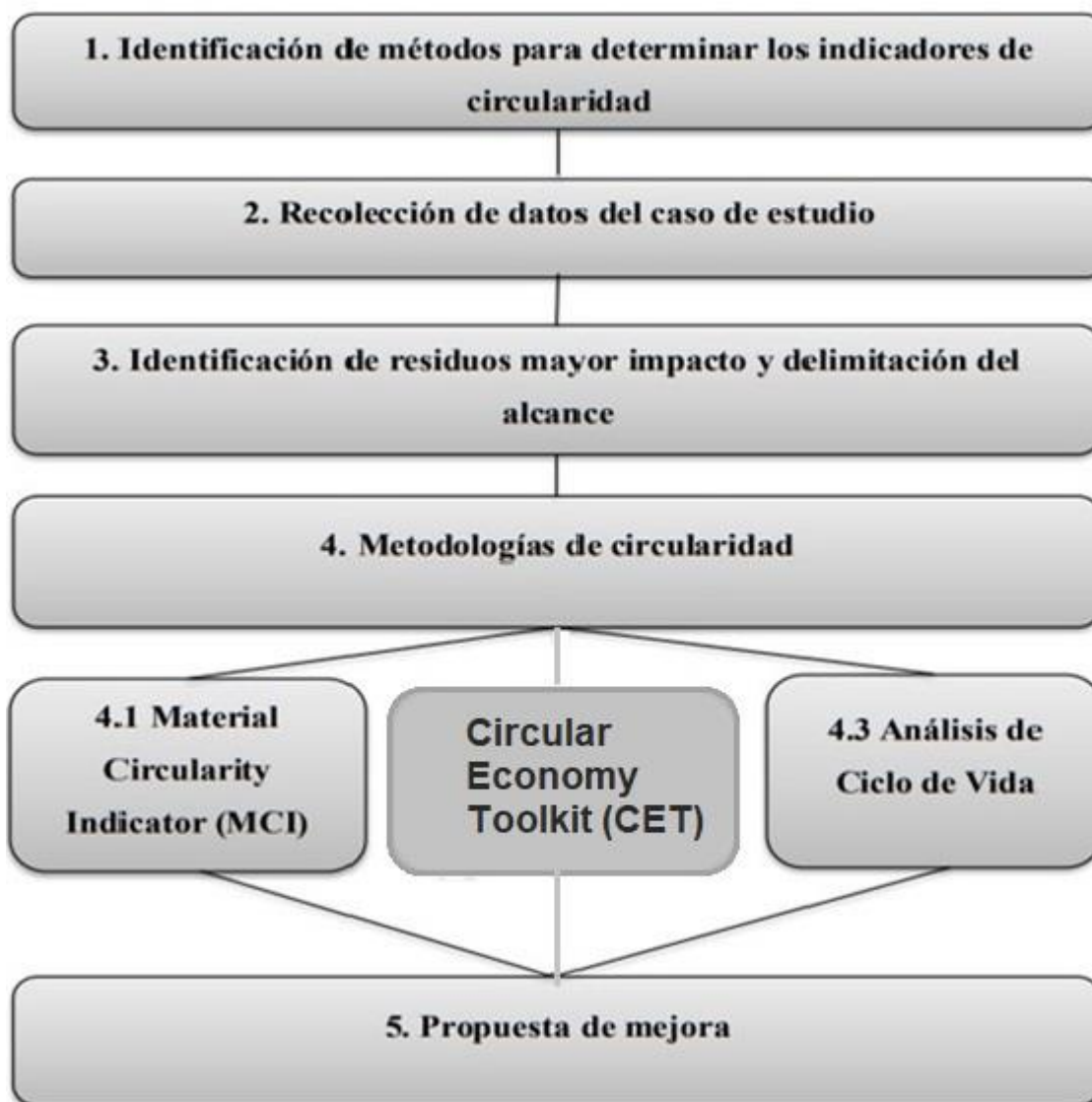


Figura 19. Diseño experimental para el diagnóstico de circularidad de un proceso.
Fuente: (elaboración propia)

3.2. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL.

3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS INDICADORES DE CIRCULARIDAD.

Se realizó la revisión tomando en cuenta los aspectos generales de cada herramienta, con el objetivo de utilizarlas como guía metodológica descrita en el apartado de Materiales y Métodos, tomando en cuenta los puntos principales de cada una.

Estos puntos incluyen: las definiciones utilizadas para determinar la circularidad, la metodología para diagnosticar la circularidad de los procesos, así como los requisitos generales para el desarrollo.

Los puntos particulares por considerar son los inventarios de las materias primas con su porcentaje de procedencia de compuestos vírgenes, reciclados o reutilizados, inventario de residuos generados y destinados a reciclaje, reutilización o a vertederos, tiempo de vida del producto y el promedio de vida de este o similar producto en el mercado. (V., 2022)

3.2.2. RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CASO DE ESTUDIO

Los trabajos informados sobre el reciclaje de alfombras son escasos y están muy dispersos, en parte debido a la naturaleza de la tarea y en parte a la falta de esfuerzos coordinados en la búsqueda de soluciones. Habiendo dicho esto, muchos fabricantes, instituciones de investigación y empresas privadas se han mostrado activos alertando a la industria y comprometiendo a varias instituciones gubernamentales y ambientales. Carpet Recycling UK, patrocinado principalmente por fabricantes de alfombras, organiza conferencias anuales para informar sobre nuevas innovaciones comerciales orientadas a los desechos de alfombras y Simposios internacionales de reciclaje de fibra que se llevan a cabo cada 2 años.

Realiza un esfuerzo coordinado para reunir a la academia y la industria para informar sobre una gama más amplia de reciclaje. posibilidades e innovaciones.

En los últimos 10 años, se han publicado algunos libros y actas de congresos sobre reciclaje en general y textiles/alfombras en particular. Wealth from Waste, Ecotextiles, Cash for your Trash, CARE son solo algunos ejemplos de estas publicaciones. Las referencias provistas en este capítulo también son una buena fuente de interés adicional.

Dicho esto, los datos presentados en este documento se sustentan en la información recabada por varios reportes desarrollados en los últimos años. Enfocados a describir la problemática que representan los residuos de alfombras con especial enfoque en Reino Unido y la forma en que se manejan estos residuos, que son desviados del vertedero y el impacto ambiental y económico que conlleva su eliminación.

El artículo, Reciclaje de alfombras: una revisión de las alfombras recicladas para compuestos estructuras presentado por Departamento de Ingeniería, Universidad de Lancaster, Bailrigg, Lancaster, LA1 4YR, Reino Unido, reúne variada bibliografía con datos sustentados acerca del fin de uso de alfombras en UK y evalúa las propiedades mecánicas obtenidas en la fabricación de nuevos productos hechos en proporción con residuos de alfombras, publicado en la revista: Tecnología e innovación ambiental o Environmental Technology & Innovation.

Cuya esencia se centra en un enfoque orientado al desafío de soluciones que reúnen excelentes ciencias naturales, que sustentan el desarrollo y la aplicación de tecnologías, para comprender y ofrecer un futuro sostenible. Reconoce la necesidad de fomentar y difundir la creación y el desarrollo de nuevos productos, tecnologías e ideas innovadoras que mejoren nuestro medio ambiente.

Los sectores de impacto incluyen el suelo, el aire, el agua y los alimentos tanto en paisajes rurales como urbanos. La revista representa una plataforma para difundir la

evidencia científica fundamental para la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

La difusión de la ciencia fundamental, metodologías, herramientas y técnicas, además del panorama de políticas y gobernanza en torno al tema del futuro sostenible, son el foco de esta publicación.

Entiende la necesidad de considerar la ciencia y la tecnología para obtener beneficios ambientales, incluido el desarrollo de tecnologías más inteligentes y limpias para la protección del medio ambiente, métodos de procesamiento más eficientes para el mejor uso de los recursos y, lo que es más importante, la evidencia ambiental para su adopción y éxito.

En los reportes de los últimos años se proporciona la información necesaria para evaluar la circularidad del proceso de disposición final de residuos de alfombras en Reino Unido.

3.2.3. IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS DE MAYOR IMPACTO Y DELIMITACIÓN DEL ALCANCE.

Identificar las líneas de proceso o productos en las etapas para la fabricación de alfombras más comunes en UK que generen mayor cantidad y desperdicio de residuos.

Una vez limitadas las líneas de proceso o productos, se realizará la trazabilidad de los materiales y residuos, verificando flujos de entradas y salidas de forma documental a través de inventarios realizados en determinados años, indicadores de mermas, material reciclado, recuperado o reusado. (V., 2022)

3.2.4. PROPUESTA DE MEJORA.

Resaltar los factores identificados que añaden circularidad en las líneas de proceso o productos delimitados y los factores que al ser lineales requieren de modificarse para aumentar su índice de circularidad.

Entre las recomendaciones posibles, se encuentra el uso de materias primas recicladas o reutilizadas por completo o en porcentajes, sistema de recirculación de residuos en las líneas productivas o como materia prima para otra empresa y acciones para la minimización de los impactos ambientales identificados.

Exponer una propuesta que contenga recomendaciones de controles de administrativos o de ingeniería para la revalorización de los residuos seleccionados.

Difundir en dado caso de detectarse mejoras en el producto, la actividad de ecodiseño del producto para obtener mayor durabilidad, facilidad en la reparación, renovación y re-fabricación y reciclaje del producto.

Fomentar el marco de las 9'R (rechazar, reducir, reutilizar, reparar, restaurar, re-manufacturar, readaptar, reciclar y recuperar) conforme a los lineamientos del Ecodesign Working Plan 2016-2019 de la Comisión Europea. (Comisión Europea, 2016).

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS.

El presente proyecto, se realizará analizando el caso en el territorio de UK, país que presenta una problemática en generación de desechos derivados de su proceso de fabricación y disposición final de residuos de alfombras. Debido a que se tiene un excelente registro del flujo de materiales textiles en dicho país, representa una muestra significativa.

400.000 toneladas de residuos de alfombras se envían anualmente a los vertederos del Reino Unido para su eliminación generando altos costos tanto económicos como ambientales, el porcentaje de estos residuos reciclado es muy bajo, requiriéndose desarrollar alguna estrategia para generar valor a este residuo.

Para el análisis del proceso se contempla seguir la Guía para Diagnosticar la Circularidad.

3.3.1. GUÍA PARA DIAGNOSTICAR LA CIRCULARIDAD.

Al ser la EC una propuesta reciente, aún no se cuenta con una ruta definida y accesible para determinar la circularidad en una empresa (s), proceso (s) o productos (s).

Sin embargo, instituciones privadas como la Fundación Ellen MacArthur (EMF por sus siglas en inglés) instituida en el año 2010, Fundación Cajanavarra y la compañía de diseño global IDEO desarrollaron herramientas para poder obtener la medición de la circularidad con base en lo siguiente:

- Material Circularity Indicator (MCI) de la EMF, el cual consta de ser una hoja de <Excel donde se ingresan los datos de la empresa para poder obtener la medición de la circularidad del producto (s) (EMF1, 2015; EMF2, 2015; EMF3, 2015).

3.3.1.2. MATERIAL CIRCULARITY INDICATOR (MCI)

Entre los criterios a considerar están la dimensión de las etapas identificadas anteriormente, nivel de madurez de los sistemas de gestión de materiales y residuos, porcentaje de material no renovable y virgen usado, empleo o no de otros recursos (agua y energía) y disponibilidad de la información. El indicador de circularidad del material, en inglés Material Circularity Indicator (MCI), asigna un puntaje entre 0 y 1 a un producto o compañía que evalúa qué tan restaurativo o lineal es el flujo de los materiales para el producto (s) de la compañía y qué tan largo e intenso se usa el producto (s) de la compañía a producto (s) similares promedio de la industria (EMF2, 2015).

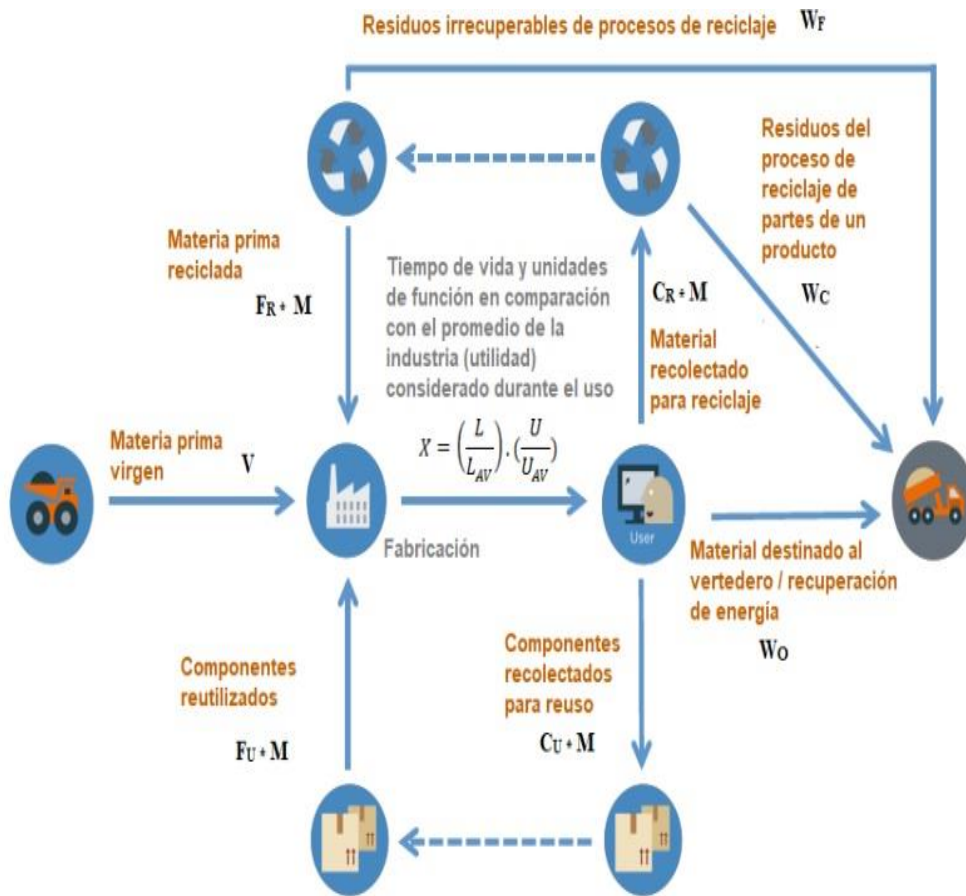


Figura 20. Representación esquemática de flujos de materiales.
Fuente: (EMF2, 2015.)

Tabla 7. Nomenclatura para el cálculo del Indicador de Circularidad del Material.
Fuente: (Callister y Rethwisch, 2007; Ashby y Jones,)

Símbolo	Definición
M	Masa del producto terminado.
F_R	Fracción de masa de materia prima de un producto de fuentes recicladas
F_U	Fracción de masa de materia prima de un producto de fuentes reutilizadas
V	Masa de materia prima virgen usada en el producto
C_R	Fracción de masa de un producto recolectado para ir dentro del proceso de reciclaje
C_U	Fracción de masa de un producto dentro de un componente de reuso
E_C	Eficiencia del proceso de reciclaje para la porción de un producto recolectado para reciclaje
E_F	Eficiencia del proceso de reciclaje usado para producir materia prima reciclada para un producto
W	Masa de residuos irrecuperables asociados con el producto
W_O	Masa de residuos irrecuperables a través del material de un producto que va al basurero,
W_C	Masa de residuos irrecuperables generados en el proceso de reciclaje de partes de un producto
W_F	Masa de residuos irrecuperables generados cuando se produce el reciclaje de materia prima para un producto
LFI	Índice de flujo lineal
F(X)	Factor de utilidad construido como una función de la utilidad X de un producto
X	Utilidad de un producto
L	Promedio de vida actual de un producto
L_{AV}	Promedio de vida actual de un producto de la industria del mismo tipo
U	Promedio del número actual de unidades funcionales logradas durante la fase de uso de un producto
U_{AV}	Promedio actual del número de unidades funcionales logradas durante la fase de uso de un producto de la industria del mismo tipo
MCI_P	Indicador de circularidad de un producto

Tabla 8. Ecuaciones para determinar el MCI.
Fuente: (EMF2, 2015)

$$\begin{aligned}
 V &= M(1 - F_R - F_U) \\
 W_0 &= M(1 - C_R - C_U) \\
 W_C &= M(1 - E_C)C_R \\
 W_F &= M \frac{(1 - E_F)F_R}{E_F} \\
 W &= W_0 + \frac{W_F + W_C}{2} \\
 LFI &= \frac{V + W}{2M} \\
 X &= \left(\frac{L}{L_{AV}}\right) \cdot \left(\frac{U}{U_{AV}}\right) \\
 F(X) &= \frac{0.9}{X} \\
 MCI^*p &= (1 - LFI) * F(X)
 \end{aligned}$$

3.3.1.3. Ejemplos Ilustrativos.

EMF dentro de la guía *Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity. Non-Technical Case Studies* (EMF3, 2015) ejemplifica el siguiente ejemplo:

Una compañía produce tabletas electrónicas portátiles, la cual está considerando diseños más circulares. La típica tableta electrónica portátil que pesa 0,68 kg utiliza materiales 100% vírgenes y, en promedio, se desecha en el vertedero después de 2 años de uso. La tableta tiene una carcasa de polímero y un vidrio frontal sensible al tacto que cubre la pantalla de cristal líquido. Después de una evaluación cuidadosa de la tableta actual, se encontró:

- La principal contribución a la huella de carbono y al riesgo de la cadena de suministro provienen de los componentes electrónicos.

- Los metales preciosos y de tierras raras utilizados en la placa de circuito impreso y otros componentes electrónicos tienen la mayor variación de precio de las materias primas.
- Las concentraciones más altas de sustancias reguladas por el reglamento de Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas (REACH por sus siglas en inglés) se utilizan en los plásticos utilizados para la caja de la tableta y el aislamiento del cable.

Además, debido a la presencia de un retardante de llama, la caja no se puede reciclar después de su uso.

Los componentes electrónicos no pueden cambiarse fácilmente, por lo que se busca mejorar la carcasa y la cubierta de vidrio frontal.

Después de sesiones con expertos en materiales y su equipo de diseño, se decide sustituir el material de la carcasa por una aleación de aluminio y modificar el diseño de la pantalla para permitir una reutilización más fácil de la cubierta de vidrio frontal.

Los cálculos muestran que esta solución mejora la circularidad del producto. También reduce la presencia de sustancias enumeradas en el reglamento REACH porque el nuevo material evita el uso del retardante de llama que está presente en la carcasa de plástico que cae en la lista de sustancias candidatas REACH de muy alta preocupación.

Las características básicas en términos de materiales, origen y destino del diseño antiguo y nuevo son:

	Tableta de referencia	Tableta rediseñada
Lista de materiales	Carcasa de plástico Cubierta de vidrio frontal Componentes electrónicos	Carcasa de aluminio Cubierta de vidrio frontal Componentes electrónicos
Masa	0.68 kg	0.74 kg
Materias primas	100% materiales vírgenes	58.3% materiales vírgenes
	0% materiales reciclados	0% materiales reciclados
	0% de componentes reutilizados	41.7% de componentes reutilizados
	100% a vertedero	58.3% a vertedero
	0% a reciclaje	0% a reciclaje
	0% para reutilizar	41.7% para reutilizar.

En términos de la notación usada en la metodología esto significa:

Tableta de referencia

Tableta rediseñada

Fracción de masa de la materia prima del producto de fuentes recicladas:

$$FR() = 0$$

$$FR() = 0$$

Como no existe fracción de la materia prima del producto de fuentes reusadas

$$FU = 0$$

$$FU = 0.417$$

Para obtener la masa de materia prima virgen usada en el producto tenemos:

$$V = 0.68 (1 - 0 - 0) = 0.68$$

$$V = 0.74 (1 - 0 - 0.417) = 0.431$$

Fracción de masa del producto recolectado para ir dentro del proceso de reciclaje:

$$CR = 0$$

$$CR = 0$$

Fracción de masa del producto dentro de un componente de reúso:

$$CU = 0$$

$$CU = 0.417$$

Eficiencia de la tasa de reciclaje:

$$EC = 0$$

$$EC = 0$$

La cantidad de residuos irrecuperables a través del material de un producto que va al basurero:

$$W_o = 0.68(1 - 0) = 0.68$$

$$W_o = 0.74(1 - 0.417) = 0.431$$

La cantidad de residuos generados en el proceso de reciclaje está dada por:

$$W_c = 0.68(1 - 0) = 0$$

$$W_c = 0.71(1 - 0) = 0$$

La cantidad de residuo generado para producir el contenido de reciclaje es:

$$WF = 0$$

$$WF = 0$$

La cantidad total de residuo irre recuperable para el producto está dada por:

$$W = 0.68 + (0 + 0) / 2 = 0.68$$

$$W = 0.431 + (0 + 0) / 2 = 0.431$$

Índice de flujo lineal:

$$LFI = \frac{0.68+0.68}{1.36+\frac{(0-0)}{2}} = 1$$

$$LFI = \frac{0.431+0.431}{1.48+\frac{(0-0)}{2}} = 0.58$$

Un LFI igual a 1 indica que es un flujo completamente lineal, es decir, proceden de materiales vírgenes y termina como un residuo irre recuperable, la tableta rediseñada se acerca a ser más regenerativa.

En la utilidad no hay medición adecuada de unidades funcionales para los dispositivos electrónicos, solamente el tiempo de vida, el cual es tomado en cuenta:

$$X = 2 / 2 = 1$$

$$X = 2 / 2 = 1$$

Factor de Utilidad:

$$F(X) = 0.9 / 1 = 0.9$$

$$F(X) = 0.9 / 1 = 0.9$$

Finalmente, se calcula el indicador de circularidad de los productos:

$$MCI *p = 1 - (1 * 0.9) = 0.1$$

$$MCI *p = 1 - (0.583 * 0.9) = 0.47$$

El cálculo del indicador de circularidad del material de la tableta rediseñada da un valor de 0.47 en comparación con 0.10 para la versión de referencia, lo que significa que las acciones hacia un nuevo ecodiseño le brindan mayor circularidad al nuevo producto.

A continuación, se puede encontrar un resumen de esta comparación entre los dos diseños para el indicador de circularidad material y algunos de los indicadores complementarios de riesgo e impacto examinados para los dos diseños:

MCI	0.10	0.47
Huella de carbono (CO2eq)	20kg	19.6 kg
REACH Art.13 Obligaciones	Sustancia de mayor riesgo	Sustancia de mayor riesgo
peso Variación promedio anual de precios en los últimos 5 años	1.3% en peso en ± 30% del precio promedio	0.53% en peso en ± 30% del precio promedio
Riesgo de suministro de material - materiales en conflicto	22 partes que contienen elementos con alto riesgo	22 partes que contienen elementos con alto riesgo

El nuevo diseño ofrece una menor proporción de sustancias de alto riesgo, así como una disminución marginal de su huella de carbono. Aunque el aluminio utilizado para el estuche en el nuevo diseño tiene una mayor huella de carbono en comparación con el plástico, esto se compensa en exceso por la reutilización del estuche que disminuye la cantidad de material virgen necesario.

3.3.3. ANÁLISIS DE CIRCULARIDAD.

De acuerdo con la Fundación Cajanavarra para determinar la circularidad de una empresa se debe emplear la metodología Análisis de Circularidad (en inglés Circularity Assessment) que consiste en 4 fases para el desarrollo del autodiagnóstico (CAJANAVARRA, 2017; SUSTAINN, 2016):

- Fase 1. Análisis de Flujos de Materiales, Recursos y Residuos.
- Fase 2. Análisis del Costo del Ciclo de Vida
- Fase 3. Definición de Indicadores de Circularidad - Sostenibilidad
- Fase 4. Identificación de Oportunidades de Circularidad



Figura 21. Fases del Diagnóstico de Circularidad.
(Fuente: CAJANAVARRA, 2017)

3.3.3.1. Fase 1. Análisis de Flujos de Materiales, Recursos y Residuos.

Análisis de las diferentes operaciones a lo largo del ciclo de vida (fabricación, transporte, operación y mantenimiento, desmantelamiento) para construir el mapa de los flujos de materiales, recursos (agua, energía, otros) y residuos.

1. Materias Primas y Materias Auxiliares: Analizar y cuantificar las materias primas y auxiliares que se consumen en cada operación del ciclo de vida.
2. Recursos (energía, agua, otros): Analizar y cuantificar el consumo de energía (eléctrica, gas, etc.) y agua que se consume en cada operación del ciclo de vida.
3. Residuos: Analizar y cuantificar los diferentes tipos de residuos que se generan en cada operación del ciclo de vida, tales como Residuos Sólidos Urbanos (RSU), RME y RPE.
4. Vertidos: Analizar y cuantificar los vertidos que se generan en cada operación del ciclo de vida.
5. Emisiones de ruido: Analizar y cuantificar las emisiones (confinadas, difusas) y el ruido que se generan en cada operación del ciclo de vida.

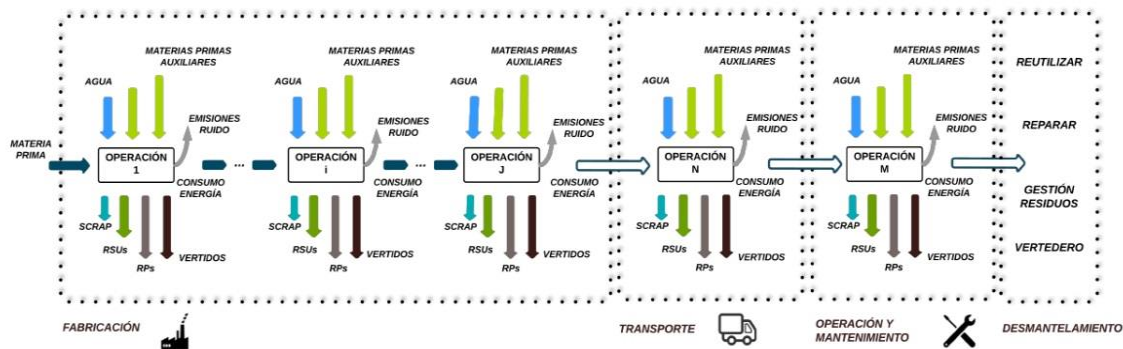


Figura 22. Mapa de flujos de materiales, recursos y residuos.
(Fuente: CAJANAVARRA, 2017)

3.3.3.2. Fase 2. Análisis del costo del ciclo de vida.

Se describen los pasos para construir el modelo del costo del ciclo de vida del producto (costo acumulado de un producto en su ciclo de vida), analizando todas las fases de su ciclo de vida: concepción, diseño y desarrollo, fabricación, transporte e instalación, operación, mantenimiento y desmantelamiento. A continuación, se describen las partidas del costo a desarrollar:

CONCEPTO, DISEÑO Y DESARROLLO	LISTA DE MATERIALES	FABRICACIÓN	TRANSPORTE	INSTALACIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	DESMANTELAM IENTO
<ul style="list-style-type: none"> Costos de la concepción, especificación y definición del producto, así como del proyecto de diseño, desarrollo y validación del producto y proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de compra de materiales, componentes y piezas que componen el producto. 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de los procesos de fabricación, incluyendo amortización de equipos y maquinaria, utensilios y personal 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de transporte puesto en marcha del producto al destino final 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de instalación y puesta en marcha. 	<ul style="list-style-type: none"> Costos durante la operación y mantenimiento (energía, control de calidad, mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo) 	<ul style="list-style-type: none"> Costos del desmantelamiento o del producto (desinstalación, transporte, reciclaje, disposición, etc.)

Figura 23. Estructura de costos según las fases del Ciclo de Vida del Producto.
(Fuente: CAJANAVARRA, 2017)

3.3.3.3. Fase 3. Definición de Indicadores de Circularidad – Sostenibilidad.

Con la información obtenida en el mapa de flujos de materiales, recursos y residuos, y en el análisis del costo del ciclo de vida del producto, se definen indicadores en las siguientes áreas, para medir el estado actual de la empresa respecto a sostenibilidad e implementación de la EC:

1. Económicos. Indicadores relativos a los costos ambientales (incluye costos de gestión de residuos), la volatilidad del costo de las materias primas principales y el impacto de ambos en el costo del ciclo de vida.

2. Eficiencia en el uso de materiales y recursos. Indicadores relativos a la eficiencia en el uso de materiales y recursos (energía, agua), así como el uso de energías renovables:

- Huella hídrica
- % reutilización de agua
- Consumo de energía (kWh)
- % consumo de energías renovables
- % embalajes retornables
- Toneladas de plástico de un solo uso
 - % de materiales recirculados (materiales que provienen de ciclos de reparación, renovación y reciclaje, ya sea interna o externamente y que no son extraídos de la naturaleza de fuentes no renovables).

3. Impacto ambiental. Indicadores relativos al impacto ambiental de la empresa a lo largo del ciclo de vida completo de los residuos, vertidos y emisiones:

- ACV. Con base en las NORMAS ISO 14040:2006 Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida e ISO 14044:2006 Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.
 - Huella de carbono
 - % emisiones compensadas
 - Carga de contaminantes vertidos, residuos en toneladas generados por características, reciclados y con destino final hacia el vertedero.

Los indicadores se deberán adaptar al sector y el alcance de la actividad de la empresa, las particularidades del proceso de fabricación y los materiales y recursos utilizados a lo largo del ciclo de vida.

3.3.3.4. Fase 4. Identificación de Oportunidades de Circularidad.

Se representan los pasos que la empresa debe seguir para la identificación de oportunidades de mejora de competitividad y nuevos modelos de negocio hacia la sostenibilidad y EC teniendo en cuenta el ciclo de vida completo del producto:

1. Análisis Tendencias Legislativas.
2. Análisis Tendencias Sostenibilidad y EC.
3. Estrategia y Modelo de Negocio.
4. Ecodiseño.
5. Suministros Circulares.
6. Procesos Ecoeficientes.
7. Energía y Agua.
8. Residuos, Vertidos y Emisiones. A continuación, se describen estos

8 pasos.

1. Análisis Tendencias Legislativas. Analizar las tendencias y nuevos desarrollos legislativos que afecten a la actividad de la empresa, especialmente en aquellas materias primas, recursos y procesos que tengan un impacto mayor en el costo del Ciclo de Vida del Producto.
2. Análisis Tendencias Sostenibilidad y EC. Analizar las tendencias en sostenibilidad y EC, especialmente en aquellas materias primas, recursos y procesos que tengan un impacto mayor en el coste del Ciclo de Vida del Producto.
3. Estrategia y Modelo de Negocio. Incorporar líneas estratégicas de sostenibilidad y eco-innovación en los planes estratégicos de la empresa, para el desarrollo de modelos de negocio circulares y la mejora de los indicadores de sostenibilidad y EC definidos.

4. Ecodiseño. Introducir criterios de ecodiseño dentro de los procesos de diseño de productos y componentes.

- Diseño para durabilidad
- Diseño para reparación
- Diseño para renovación/re-manufactura
- Diseño para reciclaje

5. Suministros Circulares. Investigar alternativas a las materias primas con materiales circulares:

- Renovables
- Reciclables
- Biodegradables
- Con contenido reciclado

6. Procesos Eco-eficientes. Investigar procesos que reduzcan el consumo de energía, agua y materiales y reduzcan los costes de proceso:

- Tecnologías eco-eficientes y mejores técnicas disponibles en el sector.
- Mantenimiento predictivo de instalaciones y equipos.
- Maquina / herramienta como un servicio.

7. Energía y Agua. Investigar oportunidades para:

- Mejorar la eficiencia energética
- Desarrollo de instalaciones Net-Energy
- Recirculación de agua

- Recuperación y reaprovechamiento de energía de procesos 8. Residuos, Vertidos y Emisiones.
- Analizar desde el diseño de producto y proceso las opciones para eliminar, reducir, valorizar (interna o externamente) o eliminar residuos, vertidos y emisiones, para optimizar los costes ambientales.

3.3.4. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

Los primeros ACV no fueron mostrados al público y se enfocaron en la demanda de energía en los sistemas productivos.

El primer estudio fue hecho por la compañía Coca-Cola en el año 1969 se denominó Análisis de Perfil Ambiental y de Recursos (en inglés Resource and Environmental Profile Analysis), que fue desarrollado por el Midwest Research Institute y dirigido por Harry Teasley ejecutivo del departamento de empaque en la compañía, el cual catalogó diversas consecuencias ambientales de los empaques de las bebidas gaseosas de la compañía (Elmore B. J.,2016).

Algunos argumentan que la razón más destacada para el nacimiento y el crecimiento del ACV en la década de 1970 fue la crisis de petróleo de esa época y el crecimiento de la población en ese momento. Más estudios se crearon durante los años 70s, donde grupos como Franklin Associates Ltd., junto al Midwest Research Institute realizaron más de 60 análisis usando métodos de balance de entradas/ salidas y cálculos de energía.

1. En la actualidad existen más estudios de ACV accesibles realizados con base en la International Standard Organization (ISO), no obstante, algunos autores consideran que la técnica aún está en una etapa temprana de desarrollo y que además requiere integrar el enfoque económico y social para orientarlo al desarrollo sostenible (Klöpffer, W., 2005).

Varios ACV realizados sólo practican la fase de inventario y son 74 enfocados al sector de envases, seguidos de la industria química, plástico, materiales de construcción, sistemas energéticos, entre otros (Colwill & Rahimifard, 2012).

El ACV permite identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida del sistema de un proceso o servicio (esto es, de la cuna a la tumba).

Obtener los impactos ambientales que genera un sistema de un proceso o servicio, desde las materias primas hasta su fin de vida, permite tener presente el conocimiento de los efectos que se ocasiona en cada etapa, y con los resultados derivados de la evaluación brinda a la industria, servicio o producto valorado, un diagnóstico que debe detonar en diversos mecanismos de reacción para la mitigación y control de los impactos ambientales resultantes. (ISO1, 2016; ISO2, 2016) De acuerdo con la norma internacional ISO 14044:2006, el ACV considera cuatro etapas:

- Definición de objetivos y alcance.
- Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).
- Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV). ▪ Interpretación.

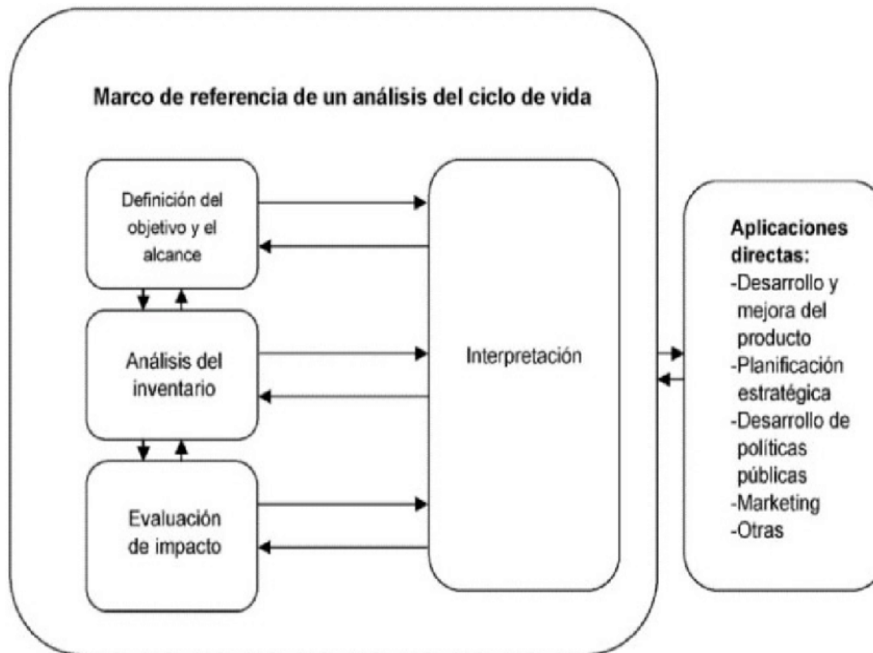


Figura 24. Etapas de un ACV. (Fuente: ISO2, 2016)

3.3.4.1. Definición de objetivos y alcance.

Al definir el objetivo, se deben indicar los siguientes elementos:

- La aplicación destinada o propósito del estudio.
- La razón para llevar a cabo el estudio.
- La audiencia prevista, es decir, a quién se le pretende comunicar los resultados del estudio.
- Si los resultados están destinados a ser utilizados en afirmaciones comparativas o destinados a ser revelados al público.

Al definir el alcance, se deben considerar y describir los siguientes elementos:

- El sistema del producto a estudiar.

- Las funciones del sistema del producto o, en el caso de estudios comparativos, los sistemas.
- La unidad funcional. Debe ser consistente con el objetivo y el alcance del estudio, claramente definida y medible. Uno de los propósitos principales de una unidad funcional es proporcionar una referencia a la cual se normalizan los datos de entrada y salida.
- El límite del sistema. Se determina qué procesos unitarios se incluirán dentro del ACV de acuerdo con el objetivo del estudio. Se deben identificar y explicar los criterios utilizados para establecer el límite del sistema y la decisión de omitir las etapas del ciclo de vida, los procesos, las entradas o las salidas, explicando las razones e implicaciones de la omisión;
- Los procedimientos de asignación;
- La metodología del EICV y tipos de impactos.

Determinar qué categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización se incluyen en el ACV;

- La interpretación a ser utilizada;
- Los requerimientos de datos;
- Los supuestos;
- Las opciones de valor y elementos opcionales;
- Las imitaciones;
- Los requisitos de calidad de datos;
- El tipo de revisión crítica, si la hay;
- El tipo y formato del informe requerido para el estudio.

En algunos casos, el objetivo y el alcance del estudio pueden modificarse debido a las limitaciones imprevistas o como resultado de la información adicional. Dichas modificaciones, junto con su justificación, deben documentarse.

3.3.4.2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

Fase del ACV que implica la recopilación y cuantificación de las entradas y salidas de un sistema de producto durante su ciclo de vida.

- Recopilación de datos. Para cada proceso unitario dentro de los límites del sistema (entradas de energía, entradas de materia prima, entradas auxiliares, otras entradas físicas, productos, coproductos y residuos, emisiones al aire, descargas al agua y al suelo, y otros aspectos ambientales);
- Dibujar los diagramas de flujo de proceso;
- Describir los procesos;
- Cálculo de datos;
- Validación de los datos recopilados. Verificar la validez de los datos durante el proceso de recopilación de datos para confirmar y proporcionar (por ejemplo: balances de masa, balances de energía y / o comparativos);
- La relación de los datos con los procesos unitarios, y la relación de datos con el flujo de referencia de la unidad funcional;
- Refinar los límites del sistema;
- Asignación de flujos y liberaciones. Identificación de procesos con linealidad de entradas y salidas de materias primas o procesos que producen más de un producto y reciclan productos intermedios o productos desechados como materias primas.

3.3.4.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).

Es la fase del ACV dirigida a conocer y evaluar la magnitud y cuán significativos son los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. Incluye los siguientes elementos:

- Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización;
- Asignación de resultados del ICV a las categorías de impacto seleccionadas (clasificación). Se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el efecto ambiental esperado;
- Cálculo de los resultados del indicador de categoría (caracterización). Modelización, mediante los factores de caracterización, de los datos del inventario para cada una de las categorías de impacto.



Figura 25. Entradas y salidas en el ACV. (Fuente: ISO2, 2016)

Categorías de impacto Algunas de las categorías de impacto que considera la EICV son: (Humbert S. et al., 2012):

La categoría de impacto CALENTAMIENTO GLOBAL considera la cantidad de radiación absorbida por los gases de efecto invernadero en la atmósfera que provoca el calentamiento de la Tierra por el aumento promedio de la temperatura de la atmósfera cerca de la superficie de la Tierra y en la troposfera.

El calentamiento es causado por los gases de efecto invernadero que son principalmente el vapor de agua y el dióxido de carbono y otros gases como metano, óxido de nitrógeno, y clorofluorocarbonos. El indicador se expresa como indicador de cambio climático y su unidad de medida es kilogramos de CO₂.

La categoría de impacto ACIDIFICACIÓN es la concentración creciente de iones de hidrógeno (H⁺) dentro de un entorno local. Esto puede ser el resultado de la adición de ácidos como por ejemplo ácido nítrico y ácido sulfúrico, al medio ambiente, o por la adición de otras sustancias por ejemplo amoníaco, que aumentan la acidez del medio ambiente debido a diversas reacciones químicas y/o actividad biológica, o por circunstancias naturales como el cambio en las concentraciones del suelo debido al crecimiento de especies de plantas locales.

Las sustancias acidificantes son a menudo emisiones al aire, que pueden viajar cientos de millas antes de la deposición húmeda como lluvia ácida, niebla o nieve o deposición seca como polvo o partículas de humo en el suelo o el agua. El dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno de la combustión de combustibles fósiles han sido los mayores contribuyentes a la lluvia ácida. Las sustancias que causan acidificación pueden dañar los materiales de construcción, las pinturas y otras estructuras construidas por humanos, lagos, arroyos, ríos y diversas plantas y animales.

La sensibilidad de varios ambientes puede depender de una serie de factores que incluyen: la capacidad de amortiguación local, las especies de plantas y animales locales y la acidez existente en el ambiente.

La categoría de impacto AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO considera la disminución de la capa de ozono provocado por el incremento de la cantidad de radiación ultravioleta que llega a la tierra.

La capa de ozono está presente en la estratosfera y actúa como filtro absorbiendo la radiación ultravioleta. La mayoría de los cloruros y bromuros, procedentes de compuestos fluoro carbonados, clorofluorocarbonos y otras fuentes reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares, emitiendo bromuros y cloruros activos que bajo la acción catalizadora de los rayos ultravioleta provocan la descomposición del ozono. Este se expresa como indicador de agotamiento de la capa de ozono y su unidad de medida es kilogramos de clorofluorocarbonos.

Categoría de impacto LLUVIA ÁCIDA. La principal fuente de acidez natural es el gas de dióxido de carbono el cual se disuelve dentro de las gotas de agua de la atmósfera formando ácido carbónico. Por otra parte, el gas de dióxido de azufre, liberado principalmente por la quema de combustibles fósiles (especialmente carbón y petróleo), es oxidado a trióxido de azufre que a su vez reacciona con vapor de agua para formar ácido sulfúrico. Para caracterizar el efecto de diferentes sustancias sobre la lluvia ácida, se establece la capacidad de cada sustancia a formar protones (acidez) en el medio receptor.

Esta capacidad se expresa en relación con la capacidad del dióxido de azufre. Por ejemplo, los óxidos de nitrógeno tienen un efecto potencial sobre la lluvia ácida de 0.7 kg equivalentes de SO₂ por kg de NO_x.

Categoría de impacto EUTROFIZACIÓN. La eutrofización es el enriquecimiento de un ecosistema acuático con nutrientes (nitratos, fosfatos) que aceleran la productividad biológica (crecimiento de algas y malezas) y una acumulación indeseable de biomasa de algas. Cuando se incrementa la concentración de nutrientes a una velocidad mayor a la que son degradados, provocan un rápido crecimiento de desintegradores aerobios, que rápidamente agotan el oxígeno disponible. El potencial de una sustancia para

generar eutrofización se calcula a partir de la cantidad de nitrógeno y/o fósforo. Aunque el nitrógeno y el fósforo juegan un papel importante en la fertilización de tierras agrícolas y otra vegetación, las liberaciones excesivas de cualquiera de estas sustancias pueden producir efectos no deseados en las vías fluviales por las que viajan y su destino final.

Si bien el fósforo generalmente tiene un impacto más negativo en los lagos y arroyos de agua dulce, el nitrógeno a menudo es más perjudicial para los entornos costeros.

Algunas de las principales sustancias que tienen un papel en esta categoría de impacto son difíciles de caracterizar, incluidas las emisiones de:

plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas de pulpa y papel vegetal en descomposición, plantas de procesamiento de alimentos y fertilizantes utilizados en ubicaciones agrícolas, comerciales y domésticas individuales. Por ejemplo, la mayoría del fertilizante (cuando se utiliza correctamente) proporciona los beneficios por los que se compró. Sin embargo, dependiendo de la pendiente de los campos, la precipitación y la volatilización del fertilizante, parte de este producto puede ir más allá de los límites previstos originalmente y causar consecuencias no deseadas río abajo.

Categoría de impacto TOXICIDAD. En los procesos industriales se emplean sustancias peligrosas para las personas y el medio ambiente. Ésta dependerá de las características de la sustancia, la vía de administración o exposición, dosis, etc. Los contaminantes en concentraciones bajas se pueden acumular a niveles críticos o letales hasta biomagnificarse, así la emisión de partículas, radiaciones nucleares, y campos electromagnéticos, también son factores de toxicidad.

La toxicidad se distingue entre aguda (efectos en un corto plazo) y crónica (efectos en un largo plazo).

Categoría de impacto TOXICIDAD. En los procesos industriales se emplean sustancias peligrosas para las personas y el medio ambiente. Ésta dependerá de las características de la sustancia, la vía de administración o exposición, dosis, etc. Los

contaminantes en concentraciones bajas se pueden acumular a niveles críticos o letales hasta biomagnificarse, así la emisión de partículas, radiaciones nucleares, y campos electromagnéticos, también son factores de toxicidad. La toxicidad se distingue entre aguda (efectos en un corto plazo) y crónica (efectos en un largo plazo).

Categoría de impacto AGOTAMIENTO DE RECURSOS. Los recursos naturales (materia y energía procedentes del ambiente) son el origen básico de todos los bienes materiales. De ellos, los no renovables son aquellos que se renuevan mediante en ciclos naturales extremadamente lentos (combustibles fósiles) o se renuevan en ciclos naturales (depósitos minerales). El agotamiento de los recursos es debido al crecimiento de la población, aumento de consumo per cápita y mala gestión. Dentro del ACV, se mide el efecto relativo al consumo de recursos sobre el agotamiento de estos teniendo en cuenta su escasez relativa y el horizonte temporal en que se creen que se agotarán, es decir, la relevancia ambiental del consumo de un recurso e inversamente proporcional a su abundancia.

3.3.4.4. Interpretación.

Se resumen y discuten los resultados del ICV o de la EICV o de ambos como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos. Para la interpretación, se debe considerar el uso de las siguientes técnicas:

- Comprobación de integridad. Garantizar que toda la información y los datos necesarios para la interpretación estén disponibles y completos;

- Comprobación de sensibilidad. Resultados del análisis de sensibilidad y análisis de incertidumbre;
- Comprobación de consistencia. Determinar si los supuestos, métodos y datos son consistentes con el objetivo y el alcance.

3.3.5. CIRCULAR ECONOMY TOOLKIT (CET) CET

es una herramienta creada por la EMF y la compañía de diseño global IDEP, es una herramienta compuesta de diversas preguntas que contempla la apreciación alta,


media o baja de la circularidad de una empresa manufacturera considerando las siguientes etapas: (Evans J. y Bocken N, 2013).

Tabla 9. CET. (Fuente: Evans J. y Bocken N, 2013)

ALTA CIRCULARIDAD	ETAPA	BAJA CIRCULARIDAD
No se utiliza material en exceso, el producto está totalmente desmaterializado.	Diseñar, fabricar y distribuir	Alto desperdicio de material podría reducirse mediante el rediseño
100% biodegradable		Alto porcentaje de materiales técnicos no biodegradables
100% Materiales reciclados utilizados		Alto porcentaje de materiales vírgenes no reciclados
Las fallas del producto raramente ocurren	Uso (por parte del cliente)	Las fallas del producto son frecuentes
El producto tiene una vida útil muy larga		El producto tiene una vida útil corta
El producto no utiliza o tiene una potencia mínima teórica		El producto consume energía y recursos
El costo de reparación es pequeño en comparación con el costo del producto	Reparación / Mantenimiento del producto	El costo de reparación supera con creces el costo del producto
Servicio de mantenimiento / reparación adecuado ya ofrecido (podría incluir reparación, servicio, repuestos, diagnóstico, soporte técnico, instalación y garantía)		No se ofrece servicio de mantenimiento / reparación
Fácil acceso a trabajos internos		Difícil acceso a trabajos internos
Trabajos simples, fáciles de entender.		Trabajos complejos, difíciles de entender
No hay componentes, conectores, módulos o cables estandarizados		Todos los componentes, conectores, módulos y cables están estandarizados
Fácil de encontrar falla		Difícil de encontrar falla
Buen mercado para ventas de segunda mano		No hay mercado para ventas de segunda mano

No se utilizan materiales escasos en el producto		Materiales escasos en el producto, p. Antinomia, cobalto, galio, geranio, indio, platino, paladio, niobio, neodimio y tantalio
Los materiales son altamente ecoeficientes (bajo consumo de energía y emisiones de carbono para producir)		Los materiales utilizados tienen poca ecoeficiencia
Sin materiales tóxicos en el producto		Exceso de materiales tóxicos en el producto
Fábrica de residuos cero; todos los desechos se utilizan como entrada a otro proceso / fábrica.		Desechos significativos enviados a los vertederos desde la fábrica.
Muchas piezas son modulares, lo que permite cambiar el interruptor de entrada y salida		No hay piezas modulares, lo que evita que el interruptor entre y salga
Posible actualizar partes		Imposible actualizar partes
Pocas conexiones mecánicas		Muchas conexiones mecánicas, p. soldaduras, tornillos, remaches, etc.
Pocas herramientas necesarias para desmontar		Muchas herramientas necesarias para desmontar
Buen mercado para vender productos como servicio	Productos como servicio	No hay mercado para vender productos como servicio
Todos los productos ya se venden como servicio		No hay productos vendidos actualmente como servicio
Pocas combinaciones de materiales utilizadas en el producto.	Reciclaje de productos al	Gran cantidad de combinaciones de materiales utilizadas en el producto.
Sin materiales encerrados (por ejemplo, si los materiales son fáciles de separar en el reciclaje)	final de la vida útil	Muchos materiales encerrados

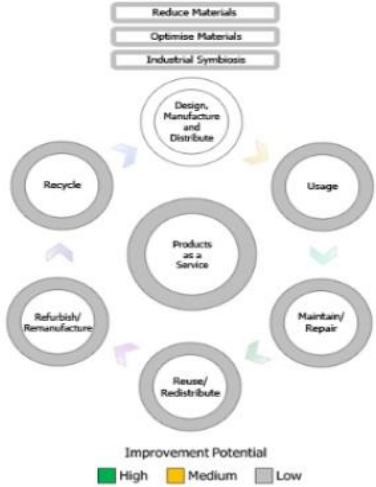
Ya se ofrecen ventas completas de segunda mano	Reutilización / Redistribución del producto. Re-manufactura / Readaptación o renovación producto o pieza	Actualmente no se ofrecen ventas de segunda mano
El producto tiene una vida útil muy larga		El producto tiene una vida útil corta
Costos baratos de readaptación / re-fabricación		Costos elevados de re-adaptación / re-fabricación
Costos de recolección costosos para devolver el producto a la fábrica		Costos de recolección baratos para devolver el producto a la fábrica
Todos los productos se devuelven y restauran / re-manufacturan.		Actualmente no se realiza ninguna restauración o re-manufactura.
Difícil de desmontar		Fácil de desmontar
No hay daño causado al producto o parte al desmontar		Daño significativo causado al producto o parte durante el desmontaje
Fácil identificar piezas una vez desmontadas		Imposible identificar piezas una vez desmontadas



Circular Economy Toolkit

Resources for an Evolving World

The Circular Economy
Toolkit
Assessment Tool
Workshops
About



Improvement Potential
■ High ■ Medium ■ Low

Answer the questions below to find potential improvements in your organisation:

* Company type: Manufacturer

* Product type:

* Use: Just playing Serious

Design, Manufacture and Distribute

No material is used in excess, product is totally dematerialised

High waste of material, could be reduced through redesign

100% Biodegradable

High percentage of technical, non-biodegradable materials

Figura. 26. CET Software. (Fuente: Evans J. y Bocken N, 2013).

3.3.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EN ESTUDIO.

La muestra que se eligió para este proyecto de investigación se encuentra desarrollada con datos de Reino Unido y su actividad económica, ambiental y social involucradas la fabricación y disposición final de residuos de alfombras que se desviaron de los vertederos.

Reportes y datos Presentados principalmente por Carpet Recycling UK (Bird, 2014) además se discuten las propiedades mecánicas de compuestos hechos a base de residuos de alfombras. Se eligió Reino Unido en particular por el registro de sus actividades respecto al tema de disposición final de residuos de alfombra, siendo este uno de los pocos países además de E.U.A y Japón quienes han tomado iniciativas y medidas más sólidas respecto al tema.

Tabla 10. Datos generales de Reino Unido del año 2016-2019).
Fuente: (Icex.es)

	Datos
Población del Reino Unido (2019) (Millones hab.)	67,5
PIB (2019) (Billones de EUR)	2,5
PIB/hab. (2019) (EUR)	37.760
Crecimiento del PIB (2019)	1,4 %
Riesgo país / Clima de negocios	A3 / A1
Residuos domésticos generados en el Reino Unido (2018) (Millones de toneladas)	26,4
Total de residuos generados en el Reino Unido (2016) (Millones de toneladas)	221
Total de residuos generados en la UE (2016) (Millones de toneladas)	2.850
Residuos generados en el Reino Unido (2016) (kg por habitante)	4.226
Tasa de reciclaje de residuos domésticos del Reino Unido (2018)	45 %
Tasa total de reciclaje del Reino Unido (2016)	48,5 %
Tasa media de reciclaje UE (2016)	37,8 %

¿Qué es Carpet Recycling UK?

Carpet Recycling UK es una organización sin ánimo de lucro, que tiene como objetivo aumentar el reciclaje de residuos de alfombras en todo el Reino Unido. Las empresas, los residentes y los ayuntamientos están buscando mejores formas de reciclar alfombras, y la organización está tratando de ayudar.

¿Qué hacen?

El objetivo de la organización es desviar más alfombras de los vertederos. Lo hacen encontrando nuevos usos para las alfombras, presionando para que se produzcan cambios en las políticas y apoyando a los recicladores de alfombras.

¿Qué han conseguido?

Han aumentado la cantidad de alfombras desviadas de los vertederos del 2% al 35% en el transcurso de 9 años. En total, esto equivale a 709.000 toneladas de residuos.

Han aumentado de 6 a 20 el número de instalaciones de reutilización, reciclaje y recuperación de energía que operan. Han recuperado un 35% más de energía reciclando alfombras desde 2015.

3.3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS.

El arte de la fabricación de alfombras puede resumirse en ocho pasos:

1.fabricacion de fibras: creados por extrusión, que en resumen es obligar a un fluido espeso y viscoso a fluir a través de los pequeños orificios de un dispositivo llamado spinneret (hilera o hilador) para formar filamentos continuos de polímero semisólido.

2.Hilado: Mediante este proceso se obtienen las bobinas de hilo que se emplean para tejer la alfombra. Los artesanos tradicionales y los nómadas lo hacen de forma manual, pero también puede ser mecánico.

3.Tintado: Una vez que se tiene el hilo para tejer la alfombra, se lleva a cabo el proceso de teñido.

4. Anudado: Una de las partes más costosas de la preparación de una alfombra y que determinará su calidad en función del número que incorpore la elaboración de los nudos en la capa de respaldo.

5. Tundado: Es el momento en el que se corta todo el pelo de la alfombra a la misma longitud.

6. Lavado: Es imprescindible para eliminar el polvo textil resultante del proceso de tundado y para fijar bien los colores de la alfombra.

7. Secado: Es vital para que se fije del todo el color y la forma que presentará la alfombra.

8. corte de la alfombra: Cortar alfombras es principalmente una cuestión de atravesar el respaldo, que es el lado duro y plano que queda al ras del piso.

3.3.3.1. Composición de una alfombra típica.

Fibra frontal, respaldo primario, adhesivo y respaldo secundario (ver Fig. 2) (Jain et al., 2012). La capa superior, que es la fibra frontal, puede ser de nailon, polipropileno, poliéster, tereftalato de polietileno (PET), fibras sintéticas mixtas o fibras naturales como la lana (Bird, 2014; Jain et al., 2012; Mirafteb et al., 1999).

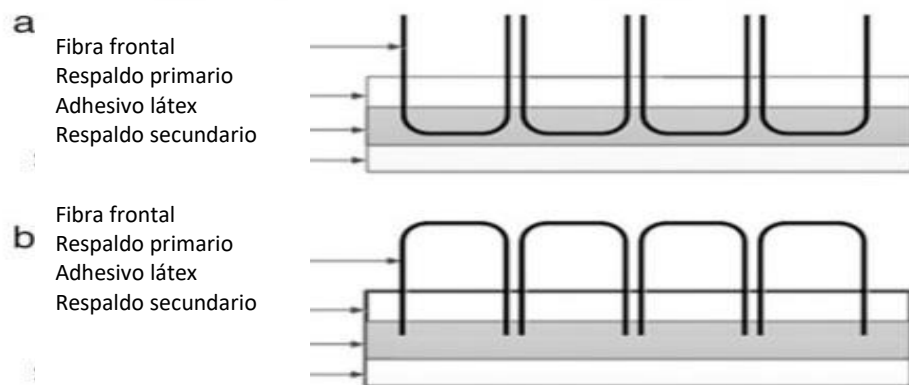


Figura 27. Construcción típica de alfombra: (a) pelo cortado (b) bucle nivelado.
Fuente: (Bird.2014)

El respaldo principal es la capa en la que se unen los hilos de las fibras frontales.

El adhesivo elastomérico se aplica en la parte inferior del respaldo principal para mantener unidas las fibras de la cara (The Carpet and Rug Institute, 2003).

El adhesivo elastomérico generalmente está hecho de caucho de estireno-butadieno (SBR), que se puede rellenar con materiales inorgánicos como el carbonato de calcio (CaCO_3) o el sulfato de bario (BaSO_4) (Mihut et al., 2001). El respaldo secundario es la capa adherida a la parte posterior de la alfombra.

Los soportes primario y secundario pueden ser de polipropileno, poliéster, cloruro de polivinilo (PVC), poliuretano o yute (Miraftab y Mirzababaei, 2009). Cabe señalar que la alfombra tiene una densidad superficial aproximada de 2,3 kg/m² (Peoples, 2006).

Tabla 11. Composición porcentual de una alfombra típica.
Fuente: Datos extraídos de Vaidyanathan et al. (2013).

tipo de componente	Porcentaje en peso (% en peso)
lado de fibra	46
Respaldo primario	4
Respaldo secundario	6
Adhesivo de látex	44

1.Fabricación de fibras: La mayoría fibras sintéticas y celulósicas manufacturadas son creados por extrusión, que en resumen es obligar a un fluido espeso y viscoso a través de los pequeños orificios de un dispositivo llamado spinneret (hilera o hilador) para formar filamentos continuos de polímero semisólido.

En su estado inicial, los polímeros formadores de fibras son sólidos y por lo tanto deben ser primero convertidos en un estado fluido para la extrusión.

Esto se consigue normalmente por el trabajo mecánico del tornillo del extrusor y aporte de calor de las resistencias, si los polímeros son materiales sintéticos termoplásticos (es decir, se ablandan y se funden cuando se calientan), o por disolución en un disolvente adecuado si son no termoplásticos celulósicos.

Si no pueden ser disueltos o fundidos directamente, deben ser tratados químicamente para formar derivados solubles o termoplásticos. Tecnologías recientes se han desarrollado para algunas fibras hechas de polímeros especiales que no se funden, se disuelven, o formar derivados adecuados. Para estos materiales, las moléculas pequeñas del fluido se mezclan y reaccionan para formar los polímeros de otro modo intratables en el proceso de extrusión.

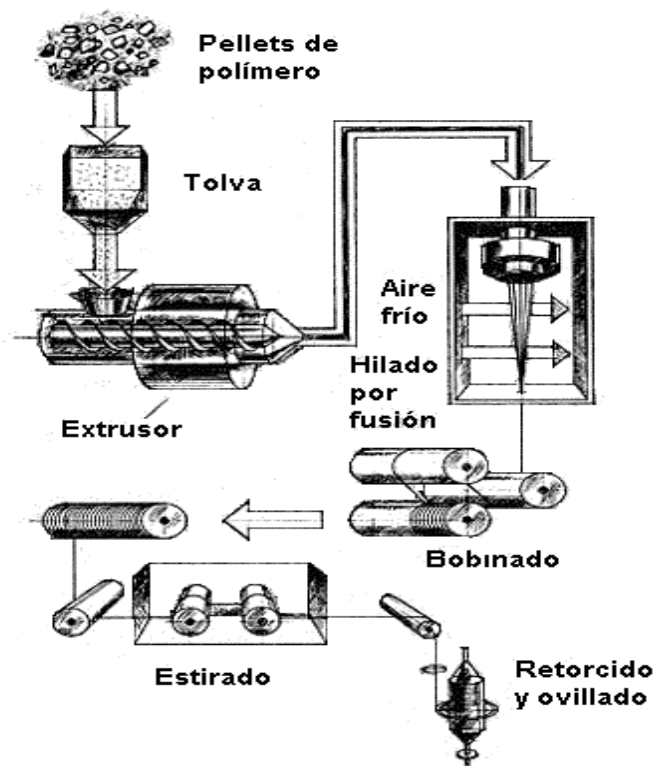


Figura 28. Esquema de producción de fibras por hilado en fusión.
Fuente: (fibersource.com).

2.Hilado: Las hileras (spinneret) utilizados en la producción de la mayoría de las fibras manufacturadas son similares, en principio, a un cabezal de ducha del baño. Una hilera puede tener de uno a varios cientos de agujeros.

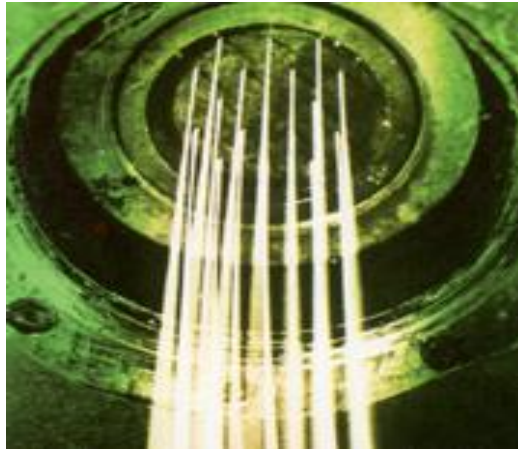


Figura 29. Spinneret.
Fuente: (fibersource.com).

Las aberturas pequeñas del spinneret son muy sensibles a las impurezas y la corrosión. La alimentación líquida o fluida hacia ellos deben ser cuidadosamente filtrada (no es una tarea fácil con materiales muy viscosos) y, en algunos casos, la hilera debe ser hecha de metales muy caros y resistentes a la corrosión. El mantenimiento es también un factor crítico, y las hileras deben ser retiradas y limpiadas con regularidad para evitar la obstrucción. A medida que los filamentos salen de los orificios de la hilera, el polímero líquido se convierte primero en un estado gomoso y luego se solidifica. Este proceso de extrusión y la solidificación de filamentos continuos se llama hilado (no debe confundirse con la operación de textil del mismo nombre, donde las fibras cortadas en hilos cortos son retorcidos en hilo).

Hay cuatro métodos de hilar filamentos de fibras manufacturadas:

- 1.- Hilado en húmedo.
- 2.-Hilado en seco.
- 3.- Hilado por fusión.
- 4.- Hilado en gel.
- 5.- Hilado en húmedo.

El hilado en húmedo es el proceso más antiguo. Se utiliza para sustancias formadoras de fibras que han sido disueltos en un disolvente. Los spinnerets están sumergidos en un baño químico y los filamentos que emergen precipitan de la solución y se solidifican. Debido a que la solución es extruida directamente en el líquido de precipitación, este proceso para la fabricación de fibras se llama hilado en húmedo. Pueden ser producidas por este proceso las fibras acrílicas, rayón, aramida, modacrílicas y spandex.

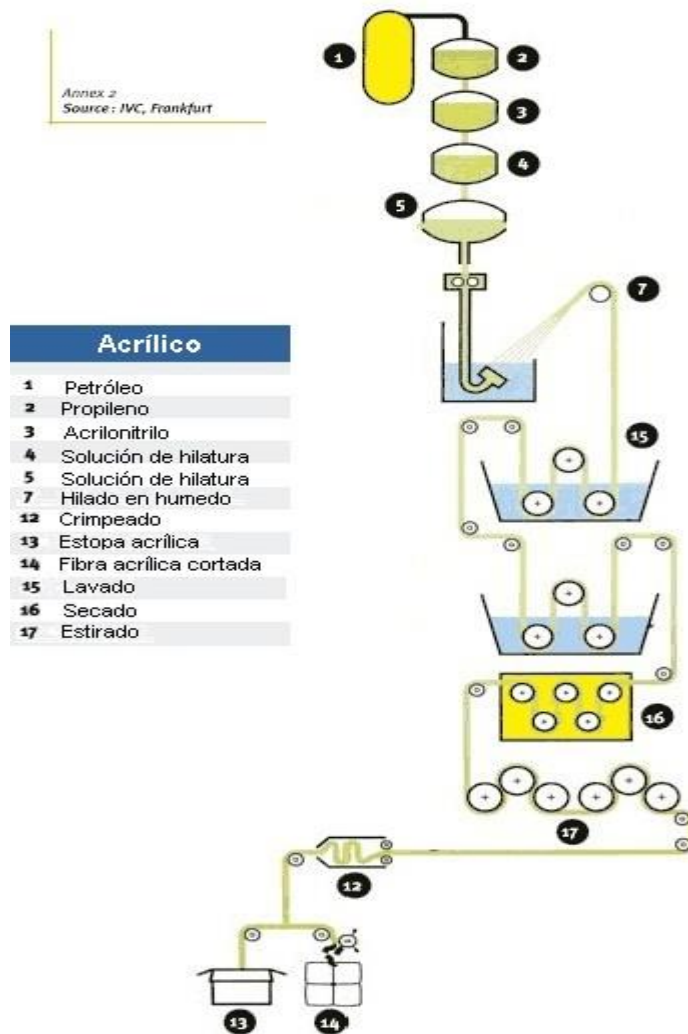


Figura 30. Esquema de hilado en húmedo de fibra acrílica.
Fuente: (fibersource.com).

Hilado en seco.

El hilado en seco se utiliza también para sustancias formadores de fibras en solución. Sin embargo, en lugar de precipitar el polímero en dilución por reacción química, la solidificación se consigue mediante la evaporación del disolvente en una corriente de aire o gas inerte.

Los filamentos no entran en contacto con un líquido de precipitación, lo que elimina la necesidad de secado y facilitar la recuperación de disolventes. Este proceso puede ser utilizado para la producción de fibras de acetato, triacetato, acrílico, modacrílicas, PBI (Polibenzimidazol), spandex y Vinyon (policloruro de vinilo).

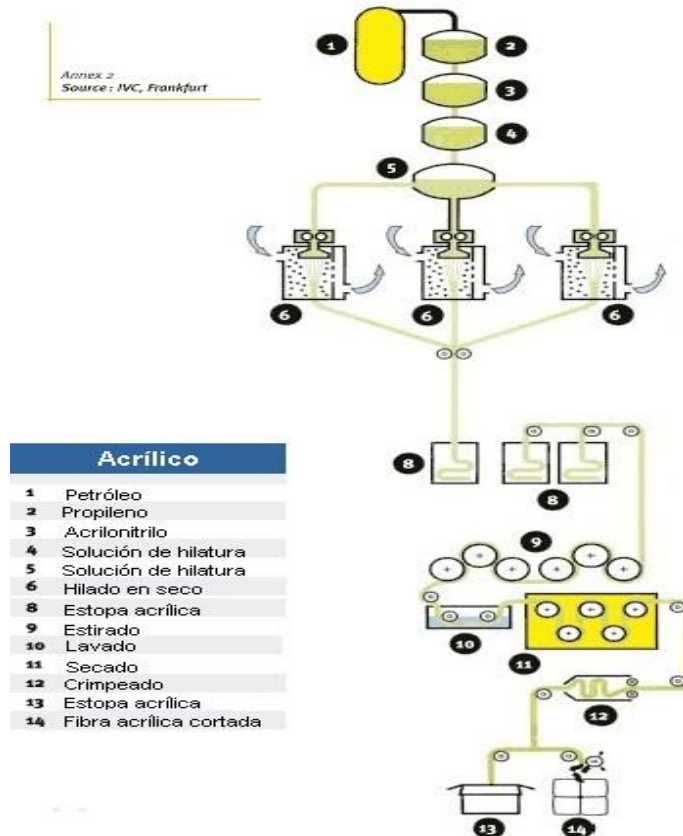


Figura 31. Esquema de hilado en seco de fibra acrílica.
Fuente: (fibersource.com).

Hilatura por fusión.

En la hilatura por fusión, la sustancia de formación de fibras se funde por extrusión a través de la hilera y luego directamente solidifica por enfriamiento. Las fibras de nylon (poliamida), olefinas, poliéster, Saran (copolímero de cloruro de vinilideno y cloruro de vinilo) y sulfar (polisulfuro de fenileno) se producen mediante este proceso.

Las fibras hiladas por fusión pueden ser extruidas de la hilera en diferentes formas de sección transversal (redondo, trilobular, pentagonal, octogonal, y otros) para brindar diversas propiedades y texturas a la fibra. Por ejemplo, las fibras en forma trilobal reflejan más la luz y dan un brillo atractivo para los textiles. Las fibras de forma pentagonal y huecas, cuando se utilizan en alfombras, muestran menos la tierra y la suciedad. Las fibras en forma octogonal ofrecen efectos libres de brillo. Las fibras huecas atrapan el aire, creando aislamiento.

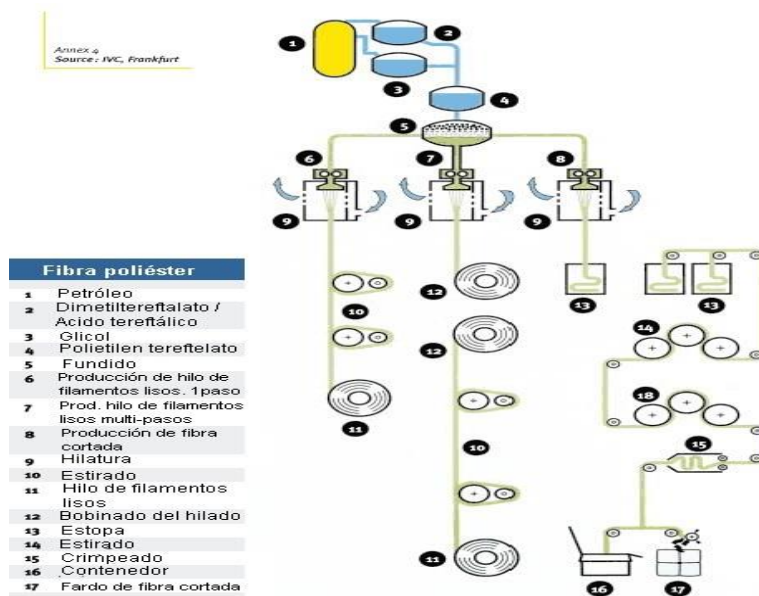


Figura 32. Esquema de hilado por fusión de fibra poliéster.
Fuente: (fibersource.com).



Figura 33. Fibra poliéster.
Fuente: (fibersource.com).

Estiramiento

Mientras que las fibras extruidas se solidifican, o en algunos casos incluso después de que se han endurecido, los filamentos se pueden estirar para impartir resistencia.

Al ser estiradas, las cadenas moleculares se juntan y orientan a lo largo del eje de la fibra, creando un hilo considerablemente más fuerte.



Figura 34. Proceso de estiramiento y orientación.
Fuente: (fibersource.com).

Por lo general el estirado de los filamentos se consigue pasándolos por rodillos que giran a diferentes velocidades. Primeramente, los filamentos pasan por rodillos que los calientan hasta la temperatura de transición vítrea, para evitar la rotura de los mismos durante el estirado.

Luego pasan por los rodillos de estirado y posteriormente por rodillos estabilizadores para evitar que se encojan nuevamente.

3. Teñido:

Durante el proceso final, las fibras sintéticas son procesadas con muchos químicos para desarrollar y mejorar su apariencia. Los tintes se pueden agregar a la solución fundida antes de hilar las fibras. La fibra generalmente se tiñe después del hilado con pigmentos disueltos en baños de agua hirviendo. Las fibras sintéticas tienen una estructura muy coherente y entrelazada porque las cadenas moleculares son regulares y tienen un alto grado de cristalización. Las moléculas de tinte se asientan en los espacios entre las cadenas moleculares.

Dependiendo de la naturaleza del material de fibra sintética, el tamaño del espacio varía de un tipo a otro y señala que todas las fibras sintéticas consisten en materiales que no aman el agua.

Por tanto, la tasa de teñido depende de la estructura interna de las fibras. Encontramos que la tasa de teñido es baja en el caso de las fibras sintéticas en comparación con otras fibras naturales por lo que el tiempo de teñido es más largo. Para superar esto, se agregan materiales auxiliares al baño de tinte para ayudar a penetrar las fibras.

Además, el aumento de la temperatura y la presión de algunos tintes aumenta la velocidad de teñido. Por ejemplo, al teñir poliéster, se usa una benzofenona (compuesto orgánico) para transferir o transportar tintes a las fibras bajo presión.

El portador se utiliza en una cantidad de 0,05 a 1,2% en peso basado en la solución de teñido.

Los populares tintes de fibras sintéticas:

Los tintes dispersos son los únicos tintes no solubles en el agua que tiñe las fibras de poliéster y el acetato. La molécula de colorante disperso se basa en la molécula de azobenceno o antraquinona con grupos amina, nitro o hidroxilo.

El tinte reactivo a la fibra puede reaccionar directamente con la fibra. La reacción química tiene lugar entre el tinte y las moléculas de la fibra, haciendo que el tinte forme parte de las fibras. Estos tintes también se utilizan para teñir fibras naturales como el algodón y la seda. Los tintes básicos también se conocen como tintes catiónicos que actúan como bases cuando se disuelven en agua; forman una sal catiónica colorida, que puede reaccionar con los sitios aniónicos de las fibras. Los tintes básicos producen piezas brillantes y de alto valor en textiles.

El tinte ácido es un tinte que generalmente se aplica a la tela a pH bajo. Se utilizan principalmente para teñir tejidos de lana. Son eficaces para teñir fibras sintéticas de nailon. Los colorantes azo son compuestos orgánicos que llevan el grupo funcional $R - N = N - R'$, donde R y R 'suelen ser arilos. Los tintes azoicos se utilizan ampliamente para el tratamiento de textiles.

4. Anudado de alfombra:

Confección de alfombras de mechones hechas a máquina (tufting). La máquina de anudar utilizada para fabricar alfombras de nudos tiene centenares de agujas (hasta 2.400) montadas en una barra horizontal que cubre toda la anchura del telar (véase la Figura 29).



Figura 35. máquina de anudar alfombras.
Fuente: (fibersource.com).

La fileta, o hilo en conos dispuesto en raquetas, pasa por unos delgados tubos de guía hacia las agujas de la máquina dispuestas en una barra móvil. En general, cada aguja se alimenta a partir de dos carretes de hilo.

El final del primer carrete se empalma con el extremo delantero del segundo, de modo que cuando se agota aquél empieza a utilizarse éste sin necesidad de detener la máquina. Cada extremo de hilo discurre por un tubo guía para evitar que los hilos se enmarañen.

A continuación, los hilos pasan por una serie de guías fijas alineadas verticalmente y unidas al cuerpo de la máquina y entran en una última guía situada en el extremo de un brazo que se extiende a partir de la barra de agujas móvil de la máquina.

Cuando esta barra se mueve hacia arriba y hacia abajo, la relación entre las dos guías se modifica. La Figura 30 ilustra la moqueta de nudos normalmente utilizada en viviendas.

La barra recoge el hilo suelto liberado durante el movimiento ascendente de las agujas. Los hilos se enhebran en las agujas de la barra que les corresponden.

Las agujas funcionan simultáneamente a razón 500 carreras por minuto o más en las que describen un movimiento alternativo ascendente y descendente.

Una máquina de anudar produce de 1.000 a 2.000 metros cuadrados de alfombra en 8 horas de funcionamiento. Las Figuras 30, 31 Y 32 ilustran los bucles ya formados y unidos al cañamazo y varios tipos de bucles comunes.

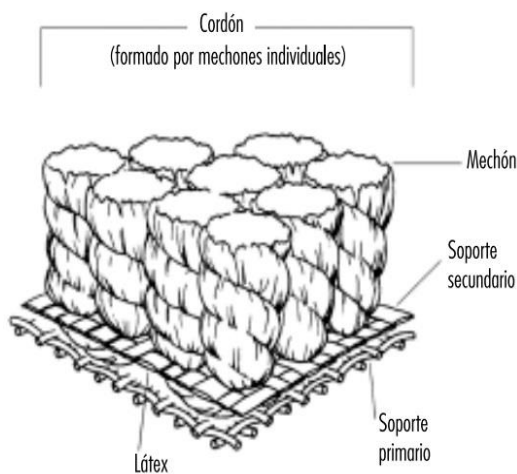


Figura 36. Sección de moqueta doméstica.
Fuente: Carpet and Rug Institute.

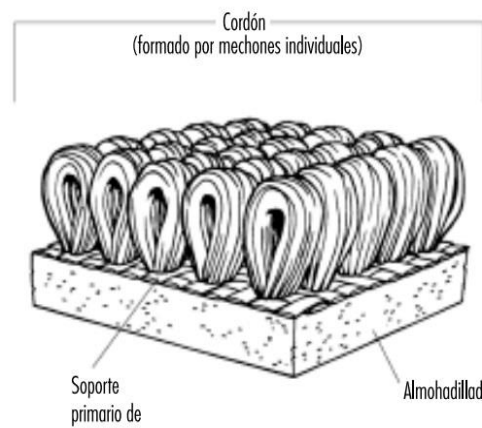


Figura 37. Sección de moqueta utilizada en ambientes no residenciales.
Fuente: Carpet and Rug Institute.

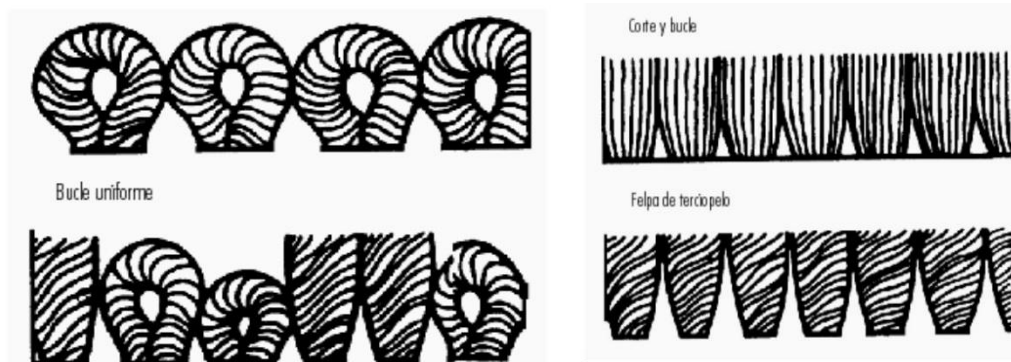


Figura 38. Bucle uniforme; corte y bucle; felpa de terciopelo; Sajonia.
Fuente: Carpet and Rug Institute.

El acabado de alfombras y moquetas persigue tres objetivos independientes: anclar cada uno de los nudos al cañamazo de soporte primario, adherir éste a un segundo soporte y tundir y limpiar el pelo de la superficie para darle un aspecto atractivo.

El segundo soporte, de polipropileno tejido, yute o material acolchado, aporta estabilidad a la moqueta.

Primero se recubre el reverso de la moqueta, normalmente por medio de un cilindro que gira en una mezcla de látex sintético y está provisto de una cuchilla dosificadora que extiende el producto. El látex es una solución con una viscosidad de 8.000 a 15.000 centipoise.

Normalmente se aplican 750 a 950 g de látex por metro cuadrado. El rollo de soporte secundario se coloca con cuidado sobre el revestimiento de látex y el conjunto se comprimen con un rodillo. Este laminado, que se mantiene plano y sin curvar, pasa por un horno largo, de 24 a 49 metros de longitud, donde se seca a temperaturas de 115 a 150 °C durante 2 a 5 minutos en tres zonas de calentamiento.

5.Tundado:

La tundidora es una máquina que cepilla el pelo y lo deja erguido y uniforme; la moqueta pasa por una serie de cuchillas giratorias que tunden o cortan las puntas de la fibra a una altura exacta, ajustable. Dos o cuatro cuchillas operan en tándem. La “tundidora doble” tienen un doble juego de cepillos de cerdas duras o de nilón y dos cuchillas tundidoras por unidad, que funcionan en tándem.

6.Lavado:

Es imprescindible para eliminar el polvo textil resultante del proceso de tundado y para fijar bien los colores de la alfombra.

7.Secado:

Para secar la moqueta es importante que el índice de evaporación sea elevado, y el aire caliente pasa exactamente por las zonas de calentamiento controlado. Para la superficie, en la que se habrá formado algo de borra durante las operaciones de tintura y acabado, la moqueta se tunde ligeramente.

8.cortar: La moqueta debe superar un exhaustivo proceso de inspección y se embala y se almacena, o se corta, se embala y se expide.



Figura 39. Producto terminado (alfombra).
fuente: Dreamstime,2019.

Alfombra de lana

La alfombra tiene su origen en Oriente, donde es considerada un elemento primordial que refleja la cultura milenaria de esos pueblos. En general, esta representa una pieza decorativa, destinada para engalanar los pisos (Altamiranda, 2013). Sin embargo, lo que muchos ignoran, son todos los procesos que tuvieron que ocurrir para obtener la alfombra que adorna sus espacios. Desde la extracción de la lana de oveja y los procesos de tratamiento que recibe para ser vendida al mercado.

La fabricación de la alfombra a nivel industrial, los beneficios que ofrece durante su vida útil hasta la fase de desecho, en este apartado se analiza paso a paso las etapas que constituyen el ciclo de vida de una alfombra de lana al ser el segundo material más utilizado en la fabricación de alfombras en UK y siendo este uno de los procesos más contaminantes de la industria textil.

A pesar de ello no debemos olvidar que al tratarse de un polímero de origen orgánico su disposición final será por mucho de menor impacto ambiental que el provocado por una alfombra hecha 100% de polímeros sintéticos.

Además, se identifican los puntos de la cadena productiva donde se producen contaminación al ambiente con el objetivo de proponer alternativas que disminuyan el grado de impacto al medio.

CAPÍTULO 4.

4.1. RESULTADOS.

4.1.2. Cálculo del indicador de circularidad del material.

Cálculo de materia prima virgen.

Considere un producto en el que FR representa la fracción de materia prima derivada de fuentes recicladas y FU representa la fracción de fuentes reutilizadas. La fracción de materia prima de las fuentes vírgenes son entonces $(1 - FR - FU)$ y la masa de material virgen viene dada por:

$$V = M(1 - FR - FU) \quad V = 0.5(1-0.06-0.01) \quad V = 0.465$$

Donde M es la masa del producto terminado.

4.1.2.1. Cálculo de residuos irrecuperables.

Si CR representa la fracción de la masa del producto que se recolecta para reciclar al final de su fase de uso y CU la fracción de la masa del producto que entra en la reutilización de componentes, la cantidad de desechos que va al vertedero o la recuperación de energía es:

$$W_o = M(1 - CR - CU) \quad W_o = 0.5(1- 0.06 - 0.01)= 0.465$$

Si EC es la eficiencia del proceso de reciclaje utilizado para reciclar el producto al final de su fase de uso, la cantidad de residuos generados en el proceso de reciclaje viene dada por:

$$W_c = M (1 - EC) CR \quad W_c = 0.5(1-0.06) 0.06 = 0.0282 \quad W_c = 0.0282$$

También se generarán desechos para producir cualquier contenido reciclado utilizado como materia prima.

Esto es dado por:

$$WF = M ((1 - EF) FR / EF) \quad Wf = 0.5 ((1-0.06) 0.06/0.06) = 0.47$$

Donde EF es la eficiencia del proceso de reciclaje utilizado para producir la materia prima reciclada.

4.1.2.2. Cálculo de la cantidad total de residuos irrecuperables.

Este enfoque asigna el 50% de WF al producto (s) de donde provino la materia prima reciclada, y 50% de WC al producto que utilizará el material que se recolecta y recicla.

$$W = W0 + (WF + WC) / 2 \quad W = 0.465 + ((0.47 + 0.0282) / 2) = 0.71$$

donde W0 es la Masa de residuos irrecuperables a través del material de un producto.

4.1.2.3. Cálculo del Índice de Flujo Lineal.

El índice de flujo lineal, en inglés Linear Flow Index (LFI) mide la proporción de material que fluye de manera lineal, es decir, procedente de materiales vírgenes que terminan como desecho irre recuperable. Se calcula dividiendo la cantidad de material que fluye de manera lineal por la suma de las cantidades de material que fluye de manera lineal y restauradora:

$$LFI = V + W / (2 M + (WF - WC) / 2) \quad LFI = 0.465 + 0.71 / (1 + ((0.47 - 0.0282) / 2))$$

$$LFI = 0.465 + 0.71 / 1.2209 = 0.962$$

El LFI puede tomar un valor entre 1 y 0, donde 1 indica un flujo completamente lineal y 0 un flujo completamente restaurador.

4.1.2.4. Cálculo de la Utilidad.

La utilidad X tiene dos componentes: uno que representa la duración de la fase de uso del producto (vida útil) y otro para la intensidad de uso (unidades funcionales).

$$X = (L / LAV) \cdot (U / UAV) \quad x = (22/10)(0.85/0.84) = 2.22 \quad x = 2.22$$

Donde L es el promedio de vida actual de un producto, LAV es el Promedio de vida actual de un producto de la industria del mismo tipo, U es el promedio del número actual de unidades funcionales logradas durante la fase de uso de un producto UAV es el promedio actual del número de unidades funcionales logradas durante la fase de uso de un producto de la industria del mismo tipo.

4.1.2.5. Cálculo del Factor de Utilidad.

El Factor de utilidad $F(X)$ se elige de tal manera que las mejoras en la utilidad de un producto (por ejemplo, al usarlo por más tiempo) tengan el mismo impacto en su MCI como al reúso de componentes que conducen a la misma cantidad de reducción del uso de material virgen y residuos irre recuperables en un período de tiempo dado.

$$F(X) = 0.9 / X \quad F(X) = 0.97 / 2.22 \quad F(X) = 0.4409$$

Factor de utilidad construido como una función de la utilidad X de un producto.

4.1.2.6. Cálculo del Indicador de Circularidad de un Producto.

El indicador de circularidad de un producto MCI_p , se puede obtener considerando el índice de flujo lineal del producto LFI y un factor $F(X)$. La ecuación utilizada para calcular el ICM de un producto es:

$$MCI * p = 1 - LFI * F(X)$$

Sin embargo, en la obtención del LFI, su valor puede ser negativo para productos con flujos principalmente lineales ($LFI \approx 1$) y una utilidad baja que un producto promedio ($X < 1$). Para evitar esto, el indicador de circularidad material se calcularía como:

$$MCI_p = \text{Max}(0, MCI * p)$$

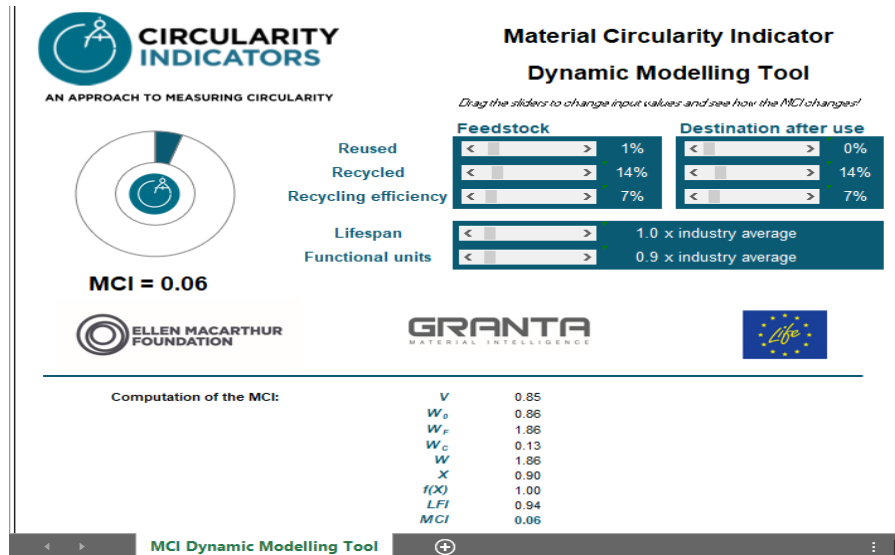


Gráfico 3. MCI= 0.06 para residuos de alfombras con una vida util normal.

Fuente: (Elaboración propia.)

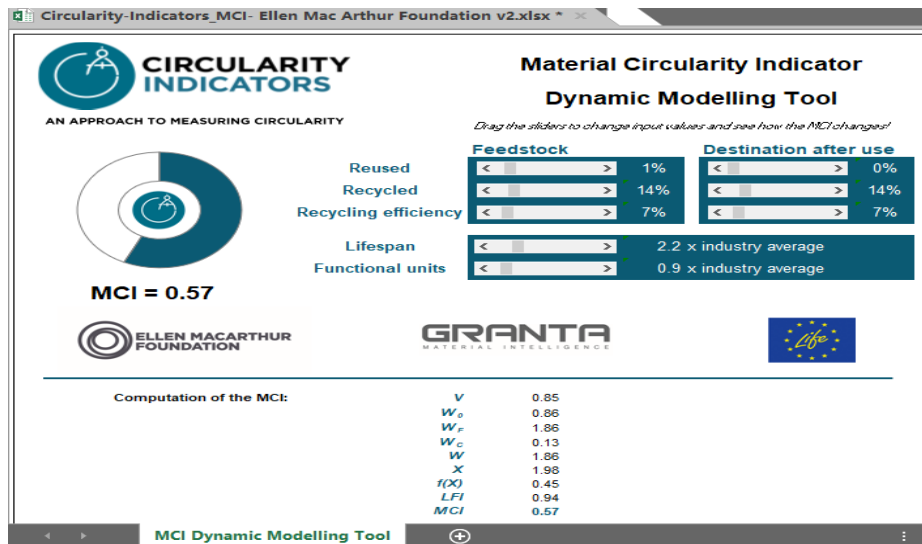


Gráfico 4. MCI= 0.57 para residuos de alfombras con una vida util al doble de lo normal con mantenimiento.

Fuente: (Elaboración propia.)

4.2. Resultados de procesos de fabricación que utilizan residuos de alfombra de la bibliografía citada.

Gowayed et al. (1995).

Gowayed et al. (1995) fabricaron compuestos utilizando soportes de polipropileno a partir de desechos de alfombras preconsumo y una matriz de polietileno. Las muestras compuestas se moldearon por compresión con una fracción de volumen de fibra del 25% de residuos de alfombras.

Las pruebas de flexión y tracción se llevaron a cabo en una matriz de polietileno puro, así como en las muestras compuestas a base de alfombras. El módulo de flexión promedio para el compuesto de alfombra fue de 0,137 GPa con una resistencia a la flexión promedio de 15,50 MPa, mientras que el módulo de flexión promedio de la matriz de polietileno puro fue de 0,086 GPa y su resistencia a la flexión promedio fue de 13,80 MPa. El módulo de tracción promedio para el compuesto de alfombra es de 0,57 GPa con una resistencia a la tracción promedio de 38,5 MPa, mientras que el módulo de tracción promedio de la matriz de polietileno puro es de 0,15 GPa y la resistencia a la tracción es de 9 MPa.

El estudio muestra que la adición de un 25 % de soportes de polipropileno de residuos de alfombras a la matriz de polietileno aumentó significativamente las propiedades mecánicas en comparación con el polietileno puro.

Los módulos de flexión y tracción relativamente bajos se deben al bajo módulo de Young del polietileno de baja densidad (véanse los gráficos 5 y 7(a)). Además, este enfoque no es económicamente viable ya que solo utiliza una fracción (revestimientos) de los desechos de la alfombra, lo que representa solo alrededor del 10 % de una alfombra típica (consulte la Tabla 10). Además, el proceso implica la etapa de preprocesamiento de separación mecánica de los soportes, que es costosa (Mihut et al., 2001)

Xantos et al. (2002)

Xantos et al. (2002) desarrollaron un método para fabricar un compuesto estructural utilizando el compuesto residual obtenido como subproducto en la recuperación de fibras de nylon a partir de desechos de alfombras.

Este compuesto residual contiene alrededor de 63 a 65 % en peso de carbonato de calcio, 15 a 18 % en peso de polipropileno y 12 a 15 % en peso de SBR. La matriz utilizada fue polietileno de baja densidad.

El proceso de fabricación implica moldeo por 'intrusión', que es una combinación de extrusión y moldeo por inyección para llenar una cavidad de molde (Xanthos et al., 2002). La resistencia a la flexión y el módulo de flexión del compuesto (compuesto residual: 80 % en peso, polietileno de baja densidad: 20 % en peso) fueron de 15 MPa y 1,48 GPa, respectivamente.

El artículo de Xanthos et al. (Xanthos et al., 2002) atribuye el módulo relativamente más alto del compuesto al alto contenido de carbonato de calcio (que tiene un módulo de 35 GPa) en el compuesto residual en comparación con la matriz de polietileno de baja densidad. (Hugo et al., 2011).

Sin embargo, las propiedades de flexión del compuesto seguían siendo bajas en comparación con los otros compuestos basados en alfombras (ver gráfico 5 y 6) debido a las propiedades mecánicas relativamente más bajas del polietileno de baja densidad (ver Tabla 4).

Una de las principales críticas a este proceso de fabricación es que utiliza una etapa de preprocesamiento costosa e intensiva en energía que requiere la separación mecánica de la fibra de nailon de las alfombras (Mihut et al., 2001).

Kotliar (1999)

Kotliar (1999) produjo muestras compuestas de desechos textiles y alfombras.

El proceso involucró la trituración de desechos de alfombras y algodón, que luego se recubrieron con una matriz de resina de fenol formaldehído de alto módulo (20% en peso).

Los resultados de la prueba muestran que se logró un módulo de flexión de aproximadamente 6,9 GPa y una resistencia a la flexión de aproximadamente 69 MPa.

El alto módulo del compuesto podría atribuirse al módulo de Young relativamente alto de la matriz de fenol formaldehído (ver Tabla 6 y Figs. 5 y 6). Además, el módulo de flexión relativamente más alto del material compuesto se debe en parte a que los laminados compuestos tienen una estructura de sándwich de panal en beneficio de una mayor rigidez a la flexión y un peso reducido (Wang, 2006a; Kotliar, 1999).

Kiziltas y Gardner (2012)

Un estudio de investigación realizado por Kiziltas y Gardner (2012) investigó el efecto de agregar relleno natural (celulosa microcristalina (MCC)) al nailon reciclado de los desechos de alfombras.

MCC es celulosa que se obtiene a partir de pulpa de madera refinada. Sin embargo, no se informó la propiedad mecánica del relleno MCC utilizado. Las muestras compuestas se moldearon por inyección. Se llevaron a cabo ensayos de flexión y tracción en las muestras moldeadas por inyección.

El compuesto de nailon reciclado sin refuerzo de relleno mostró una resistencia a la flexión y un módulo de flexión de 84,3 MPa y 2,2 GPa respectivamente. Sin embargo, la adición de 30 % en peso de relleno de MCC mostró un aumento en el módulo de flexión a 3,7 GPa sin cambios significativos en la resistencia a la flexión. Además, la

adición de 30% en peso de relleno de MCC también mostró un aumento en la resistencia a la tracción de 26,2 MPa a 53,9 MPa, y un aumento en el módulo de tracción de 3,2 GPa a 4,4 GPa.

Las propiedades mecánicas relativamente más altas de los compuestos fabricados por Kiziltas y Gardner (2012) (véanse los gráficos. 5-8) se pueden atribuir al efecto del lubricante (con el nombre comercial TPW113) utilizado en el proceso de fabricación para mejorar el procesamiento (Kiziltas y Gardner, 2012). Además, el estudio utilizó solo nailon reciclado de residuos de alfombras que se suministró en forma de gránulos de una fuente comercial (Kiziltas y Gardner, 2012).

El estudio también indica que los compuestos rellenos de MCC también son adecuados para aplicaciones de alta temperatura en la industria automotriz.

Young et al. (1998)

Young et al. (1998) utilizaron desechos de alfombras de automóviles que consisten en fibras frontales de nailon y poliéster.

Estos tipos de alfombras son diferentes a las alfombras post-consumo convencionales ya que tienen una mayor cantidad de rellenos inorgánicos (como BaSO₄ y CaCO₃ a niveles de 71 % en peso) para mejorar el aislamiento acústico en aplicaciones automotrices (Mihut et al., 2001).

El proceso de fabricación implica trituración, granulación y extrusión antes de ser moldeado por inyección. Las muestras moldeadas por inyección tenían una resistencia a la tracción y un módulo de tracción de 4,7 MPa y 0,062 GPa respectivamente.

El módulo de Young y la resistencia a la tracción relativamente bajos, como se muestra en las Figs. 7 y 8, puede deberse a la incompatibilidad de los dos polímeros diferentes. Posteriormente, Young et al. (1998) utilizaron un agente aglutinante (un polímero de polipropileno modificado con ácido acrílico bajo la marca registrada PolyBond 1001) para mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto de desecho de

alfombras. La adición del agente aglutinante (20% en peso) aumentó la resistencia a la tracción y el módulo de tracción del material compuesto a 11,8 MPa y 0,6 GPa respectivamente (Young et al., 1998).

David et al. (1996)

David et al. (1996) también fabricaron compuestos a partir de residuos de alfombras post-consumo. Los resultados de sus pruebas de tracción muestran un módulo de tracción que oscila entre 1,7 y 2,7 GPa y una resistencia a la tracción que oscila entre 13 y 31 MPa. Su estudio solo utilizó residuos de alfombras de fibra frontal de nailon, polipropileno y poliéster.

El proceso de fabricación utilizado por David et al. (1996) es similar al de Young et al. (1998), que implica la extrusión a alta temperatura y presión. Sin embargo, no se agregaron aditivos ni agentes aglutinantes a las muestras compuestas fabricadas por David et al. (1996), en vista de ello, las propiedades de tracción de David et al. (1996) parecen ser significativamente más altas que los de Young et al. (1998) (ver Figs. 7 y 8).

Las propiedades de mayor resistencia a la tracción pueden deberse a pasos de procesamiento adicionales que incluyen el paso de las muestras mezcladas por fusión a través de una matriz de hebras, un baño de agua y un troceador para producir gránulos de calidad superior antes de ser moldeados por inyección (David et al., 1996).

Murdock et al.

Murdock et al. (2011) fabricaron compuestos utilizando una técnica que incorporaba cortar y triturar los desechos de la alfombra y luego mezclarlos con diisocianato de metileno difenilo (MDI) como agente aglutinante.

El método implica triturar los residuos de alfombra y recubrir los residuos de alfombra triturados con el agente aglutinante (5% en peso) antes de extruirlos. Se llevaron a cabo pruebas de tracción en las muestras compuestas resultantes.

La resistencia a la tracción y el módulo de tracción de las muestras compuestas fueron 5 MPa y 0,6 GPa respectivamente.

El módulo de tracción de las muestras compuestas fabricadas por Murdock et al. (2011) es el mismo que el de Young et al. (1998) (con aglutinante PolyBond), mientras que la resistencia a la tracción del primero es aproximadamente la mitad que la del segundo. La diferencia en las resistencias a la tracción puede atribuirse a la diferencia en el tipo y volumen de los agentes aglutinantes utilizados.

Además, la diferencia en la resistencia a la tracción también podría atribuirse al tipo de alfombra usada, esto se debe a que la alfombra usada por Young et al. (1998) se diferenció de los residuos de alfombras convencionales por tener una mayor cantidad de relleno inorgánico.

Posteriormente, Murdock et al. (2011) agregaron relleno de madera (alrededor del 25 % en peso) al material compuesto, lo que mostró un aumento significativo en la resistencia a la tracción y el módulo de tracción de 5 MPa a 10 MPa y de 0,6 GPa a 1,6 GPa respectivamente (véanse las Figs. 7 y 8).

Jain et al. (2012)

Jain et al. (2012) utilizaron el moldeo por transferencia de resina asistido por vacío para fabricar un compuesto estructural a partir de residuos de alfombras posconsumo.

El proceso involucró la infusión de resina epoxi en las capas de la alfombra, que luego se curaron bajo presión para formar laminados. En el estudio se utilizaron dos tipos de alfombra; el primer tipo tenía una fibra frontal de nailon con una construcción de bucle

cortado y el segundo tipo tenía una fibra frontal de olefina (polipropileno) con una construcción de bucle nivelado.

El módulo de flexión de las muestras compuestas de alfombras a base de nailon osciló entre 1,3 a 1,7 GPa, mientras que la resistencia a la flexión osciló entre 22 y 36 MPa. El módulo de flexión de las muestras compuestas de moqueta a base de olefina (polipropileno) oscila entre 1,9 y 2,4 GPa, mientras que la resistencia a la flexión oscila entre 23 y 28 MPa.

El compuesto de moqueta de fibra con cara de olefina tiene un módulo de flexión aproximadamente un 40% más alto que el compuesto de moqueta de fibra con cara de nailon. Jain et al. (2012) sugiere que la diferencia en el módulo de flexión se debe a las diferencias en la construcción (bucle de nivel frente a bucle de corte) y la adhesión fibra-matriz. El proceso utilizado en este estudio (Jain et al., 2012) es más simple que los utilizados en los otros estudios revisados y no requiere ningún paso de preparación que consuma mucha energía. Sin embargo, el estudio solo se centró en los desechos de alfombras con fibras frontales de nailon y olefina (polipropileno).

4.2.1. Estudio que investiga el efecto de la adición de fibra de vidrio.

Las fibras de vidrio se utilizan como refuerzo en aplicaciones de carga estructural debido a sus propiedades de alta resistencia y rigidez. Las fibras de vidrio tienen resistencias a la tracción que van desde 3500 a 4600 MPa y módulos de tracción que van desde 69 a 83 GPa (Strong, 2008). Se han llevado a cabo estudios (Muzzy, 2006; Zhang et al., 1999) para investigar el efecto de la adición de fibra de vidrio a compuestos basados en alfombras.

Zhang et al. (1999) utilizaron dos procesos diferentes para fabricar compuestos a partir de desechos de alfombras: (1) moldeo por inyección y (2) moldeo por compresión (con malla de fibra de vidrio). El proceso de moldeo por inyección consiste en triturar, desmenuzar y secar los residuos de la alfombra antes del moldeo por inyección,

mientras que el proceso de moldeo por compresión implica desmenuzar e intercalar con fibra de vidrio antes de moldearlos. La resistencia a la tracción de los materiales compuestos moldeados por inyección osciló entre 18 y 30 MPa, mientras que el módulo de tracción osciló entre 1,43 y 1,51 GPa. La resistencia a la tracción de las muestras compuestas moldeadas por compresión con 40% en peso de vidrio osciló entre 84 y 109 MPa, mientras que el módulo de tracción osciló entre 5,7 y 6,8 GPa.

Las propiedades de tracción de las muestras moldeadas por compresión son significativamente más altas que las de las muestras moldeadas por inyección debido al refuerzo de fibra de vidrio.

Vale la pena señalar que este estudio se centró principalmente en los residuos de alfombras que tenían un contenido muy alto de polipropileno. Tampoco se realizaron ensayos de flexión en las muestras compuestas.

Zhang et al. (1999)

También investigaron el efecto de la fracción de fibra de vidrio sobre las propiedades de tracción de muestras moldeadas por compresión. La Tabla 9 compara la resistencia a la tracción y el módulo de tracción del material compuesto con diferentes porcentajes de refuerzo de fibra de vidrio. Los resultados de la prueba muestran que un aumento en el volumen de la malla de fibra de vidrio dio como resultado un aumento significativo en la resistencia a la tracción y el módulo de tracción del material compuesto resultante.

**Tabla 12 Propiedades de tracción de muestras compuestas moldeadas por compresión.
Fuentes: Zhang et al. (1999).**

muestra compuesta	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de tracción (GPa)
Residuos de moqueta puros sin estera de fibra de vidrio	25,5	1,72
Residuos de moqueta + 20 % en peso de vidrio Residuos	40,7	2,12
de moqueta + 30 % en peso de cristal Residuos de	55,2	2,76
moqueta + 40 % en peso de vidrio	84,1	5,90

El estudio realizado por Muzzy (2006) mostró que la adición de un 30 % en peso de fibra de vidrio aumentaba la resistencia a la flexión en un 100 % y el módulo de flexión en un 130 %. Por lo tanto, es evidente a partir de los estudios de Zhang et al. (1999) y Muzzy (2006) que la adición de fibra de vidrio mejora en gran medida las propiedades mecánicas de los compuestos estructurales de desecho de alfombras (véanse los gráficos del 5-8). Esto se debe a las propiedades mecánicas relativamente superiores de la fibra de vidrio en comparación con otros polímeros comunes (Strong, 2008). Sin embargo, un gran inconveniente con la adición de fibra de vidrio es su alto costo.

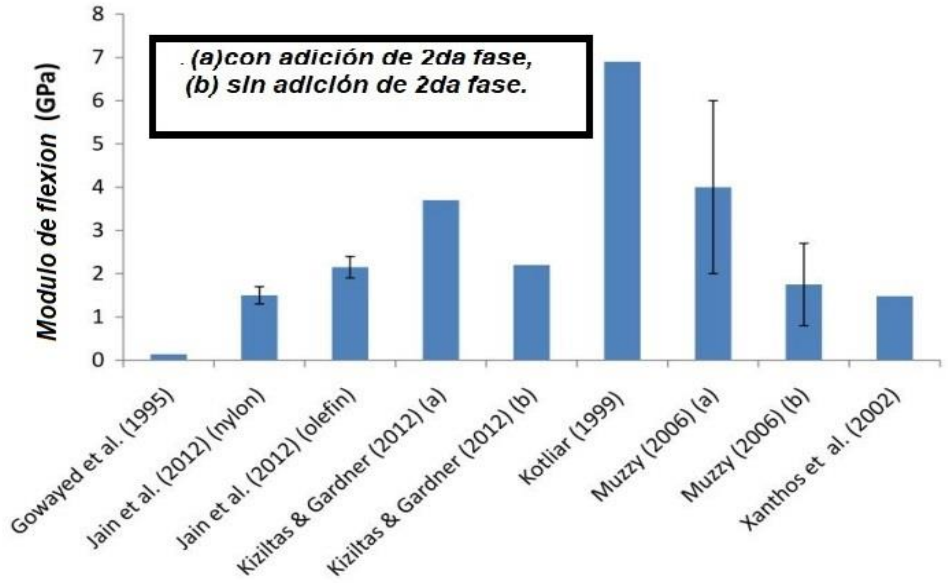
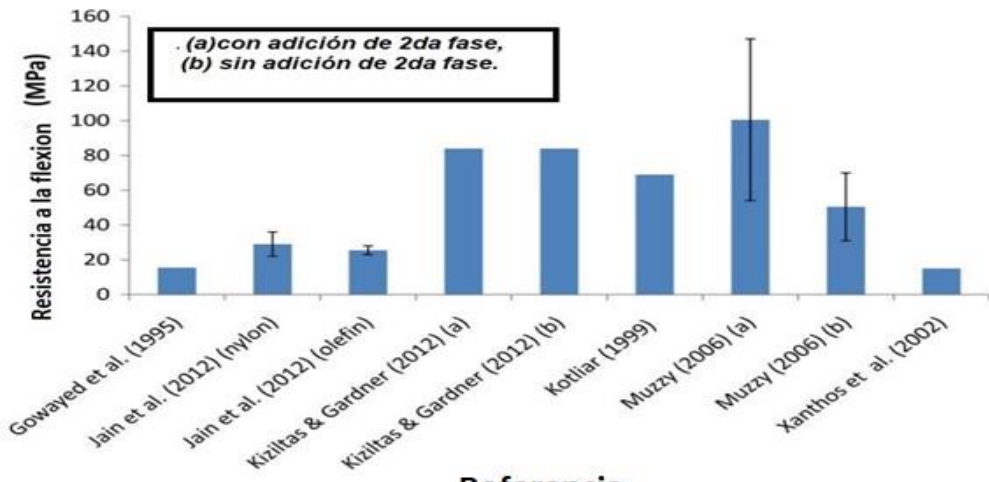


Gráfico 5. Comparación del módulo de flexión de compuestos basados en alfombras de la literatura. (a) con adición de 2da fase, (b) sin adición de 2da fase.



Referencia

Gráfico 6. Comparación de la resistencia a la flexión de compuestos basados en alfombras de la literatura. (a) con adición de 2da fase, (b) sin adición de 2da fase.

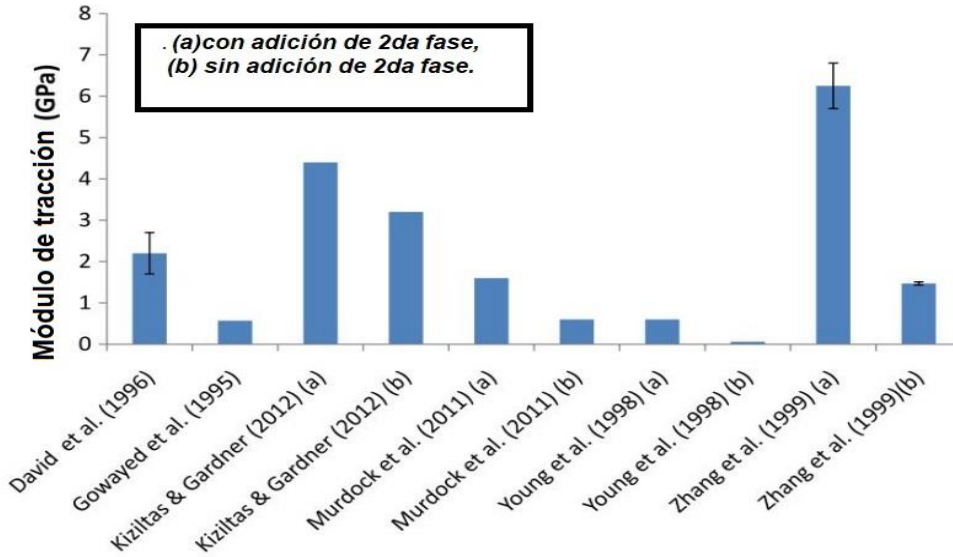


Gráfico 7. Comparación del módulo de tracción de compuestos de compuestos basados de alfombras. (a) con adición de 2da fase, (a) sin adición de 2da fase.

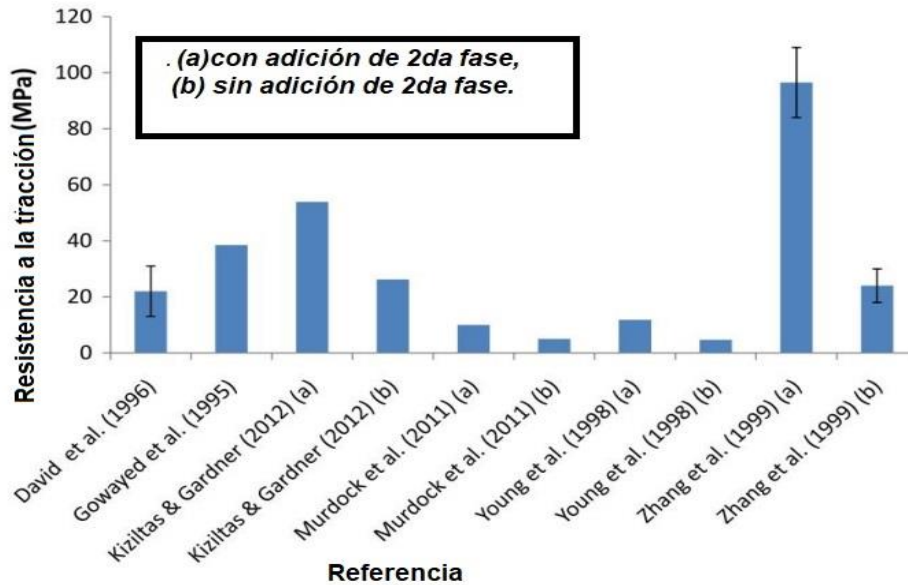


Gráfico 8. Comparación de la resistencia a la tracción de compuestos basados en alfombras de la literatura. (a) con adición de 2da fase, (a) sin adición de 2da fase.

4.3. CÁLCULO DE LA CIRCULARIDAD CON EL MCI.

Mediante la herramienta de la EMF en el análisis de los casos de la bibliografía citada la cual muestra algunos resultados de productos fabricados con cierto porcentaje de residuos de alfombra. Tomando en consideración los datos previamente mencionados obteniéndose.

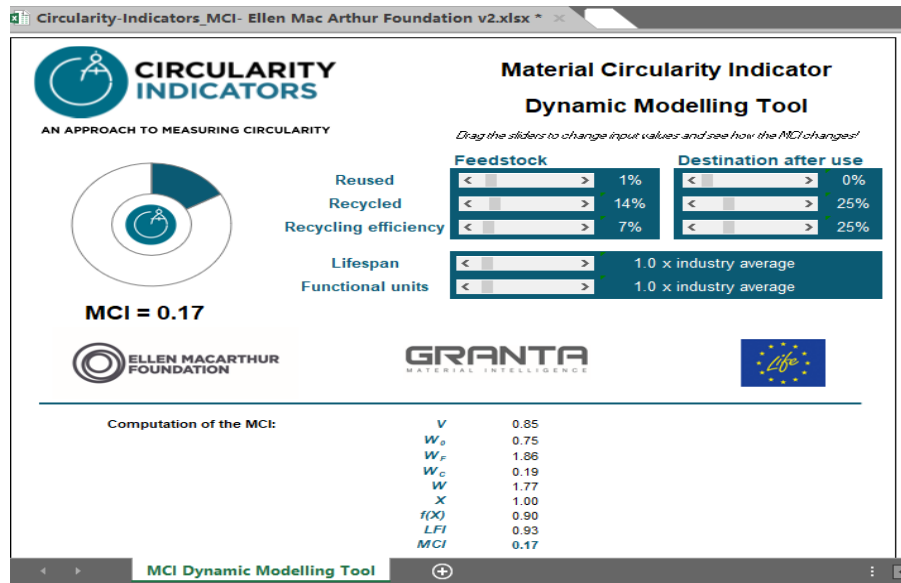


Gráfico 9. MCI = 0.17 :Estudio Gowayed et al.(1995).
25% residuos de alfombra (pp). 75% matriz de polietileno.
Fuente: (Elaboración propia.)

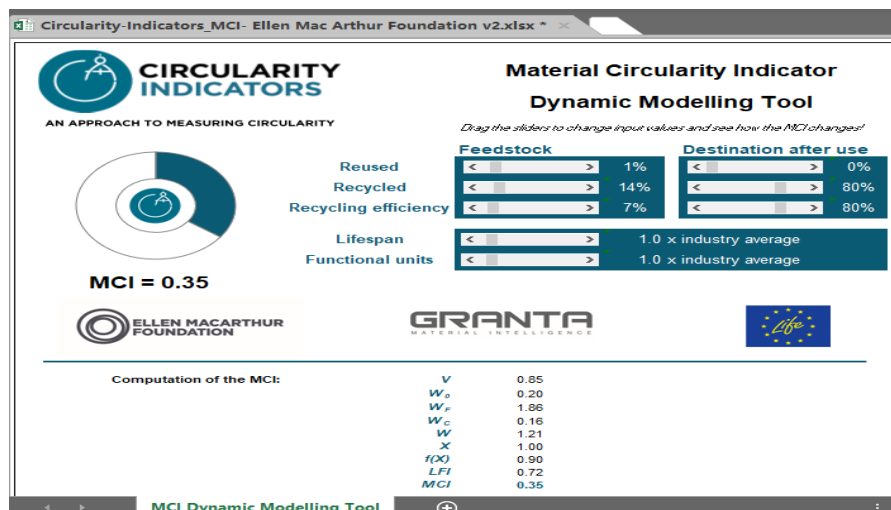
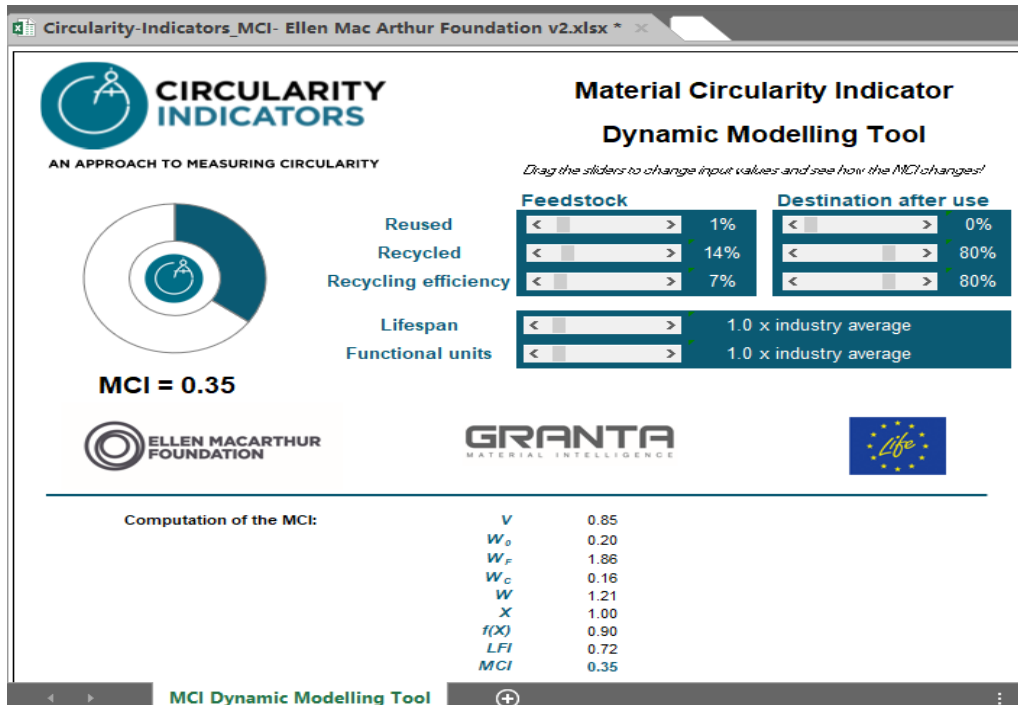
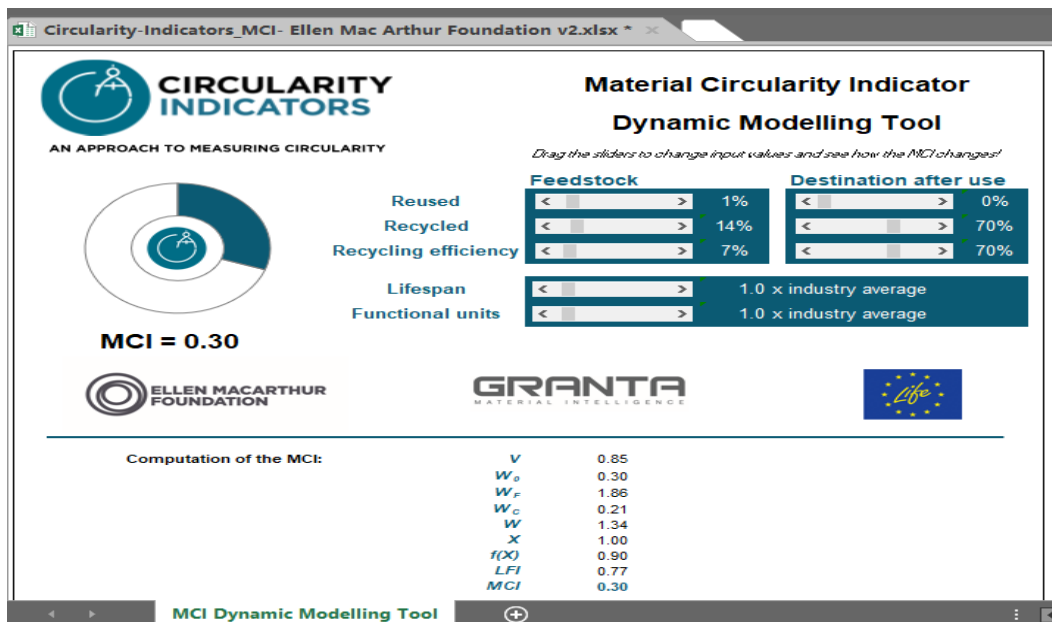


Gráfico 10. MCI = 0.35 : Xantos et al. (2002)
80% compuesto residual. 20%polietileno de baja densidad. Fuente:
(Elaboración propia.)



**Gráfico 11. MCI = 0.35 Estudio: Kotliar (1999).
80% residuos de alfombra y algodón.
Fuente: (Elaboración propia.)**



**Gráfico 12. MCI = 0.30 , Estudio ; Kiziltas y Gardner (2012).
70% nailon reciclado de alfombras. 30% Celulosa microcristalina
(MCC).
Fuente: (Elaboración propia.)**

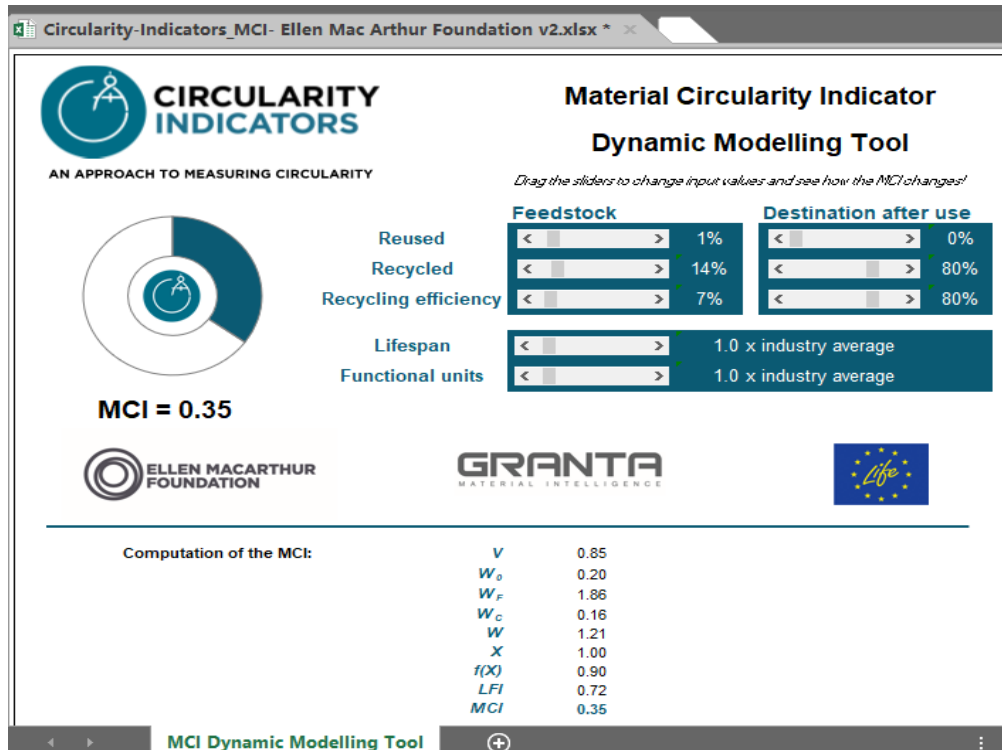


Gráfico 13. MCI = 0.35 , Estudio: Young et al. (1998).
80% residuos de alfombras de automóviles. 20% Agente aglutinante.
Fuente: (Elaboración propia.)

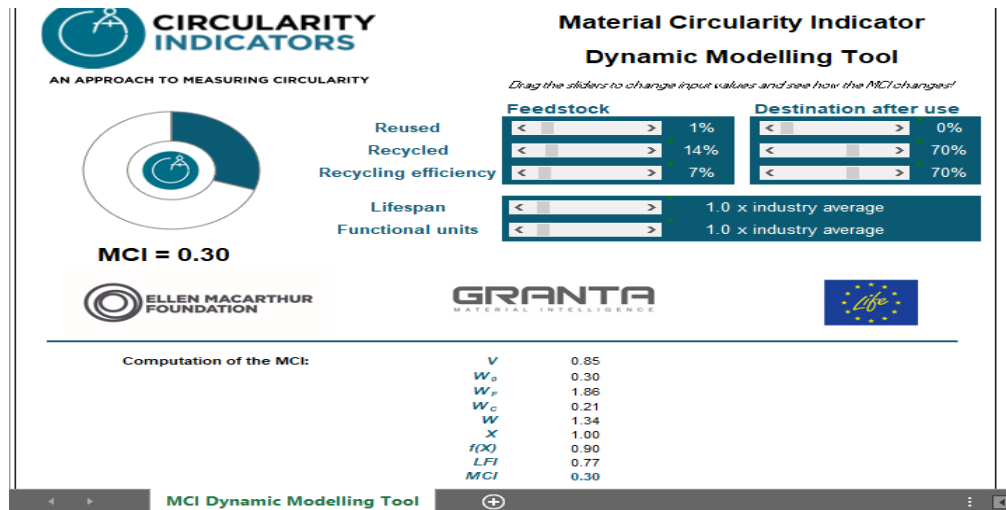
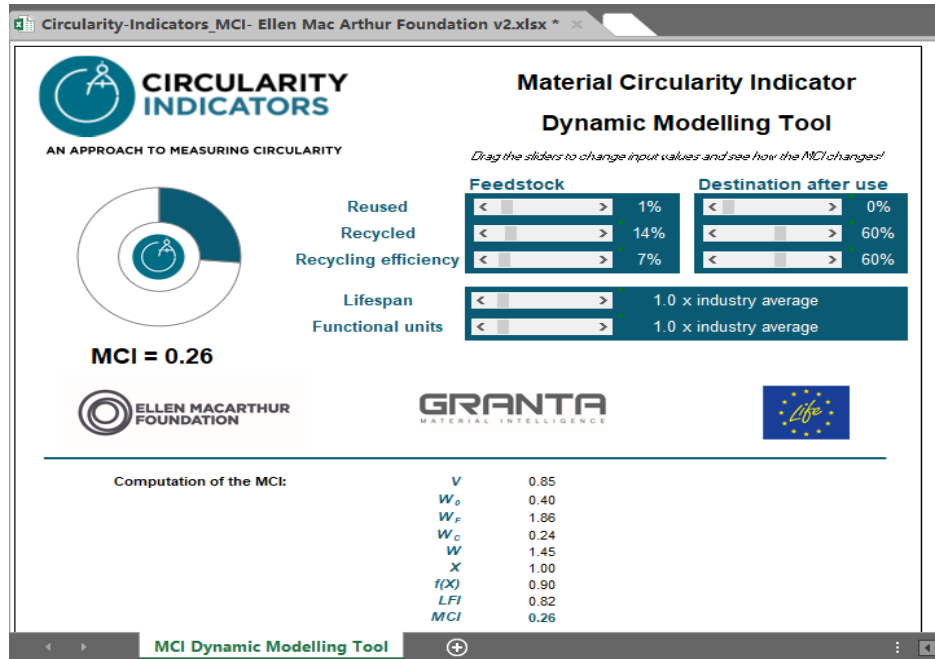


Gráfico 14. MCI = 0.30 , Estudio: Murdock et al. (2011).
70% residuos de alfombra . 5 % diisocianato de metileno como agente aglutinante . 25 % otros. Fuente: (Elaboración propia.)



**Gráfico 15. MCI = 0.26 , Estudio: Zhang et al. (1999).
60% residuos de alfombra. -40% de fibra de vidrio.
Fuente: (Elaboración propia.)**

MCI = 0.17: Estudio Gowayed et al. (1995), MCI = 0.35 Estudio: Xantos et al. (2002),

MCI = 0.35 Estudio: Kotliar (1999), MCI = 0.30, Estudio; Kiziltas y Gardner (2012).

MCI = 0.35, Estudio: Young et al. (1998). MCI = 0.30, Estudio: Murdock et al. (2011).

MCI = 0.26, Estudio: Zhang et al. (1999).

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.

El tipo de empresa que se eligió para este proyecto de investigación se centra en el giro de producción de alfombra de lana brindando una perspectiva más detallada del proceso de fabricación, así como del impacto ambiental y recursos necesarios para su elaboración.

A continuación, se muestra una tabla con las características de empresas de esta índole :

Las escalas posibles de producción que se pueden lograr son:

Tabla 13. FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO Y ESCALAS DE PRODUCCION EN UK.
Fuente: contactopyme.gob.mx

Tipo de empresa	Escala (rango de producción)
Microempresa/artesanal:	De 120 a 1,200 m ² /año
Pequeña empresa:	De 1,200 a 11,700 m ² /año
Mediana empresa:	De 11,700 a 27,000 m ² /año
Gran empresa:	Más de 27,000 m ² /año

En cuanto al grado de actualización tecnológica se destaca lo siguiente:

Microempresa/artesanal: El proceso es tradicional, no ha cambiado con el transcurso del tiempo ya que se siguen utilizando las mismas técnicas de fabricación.

Pequeña empresa: El proceso es tradicional. La única modificación es en cuanto al secado del tapiz, que ahora utiliza equipo de aire caliente a base de combustión de gas.

Flujo del proceso de producción en una escala de macro empresa.

Se presenta el flujo del proceso productivo a nivel general, referente al producto seleccionado y analizado con más detalle en esta guía el impacto ambiental, así como el consumo energético necesario para la producción anual de alfombra de lana en UK.

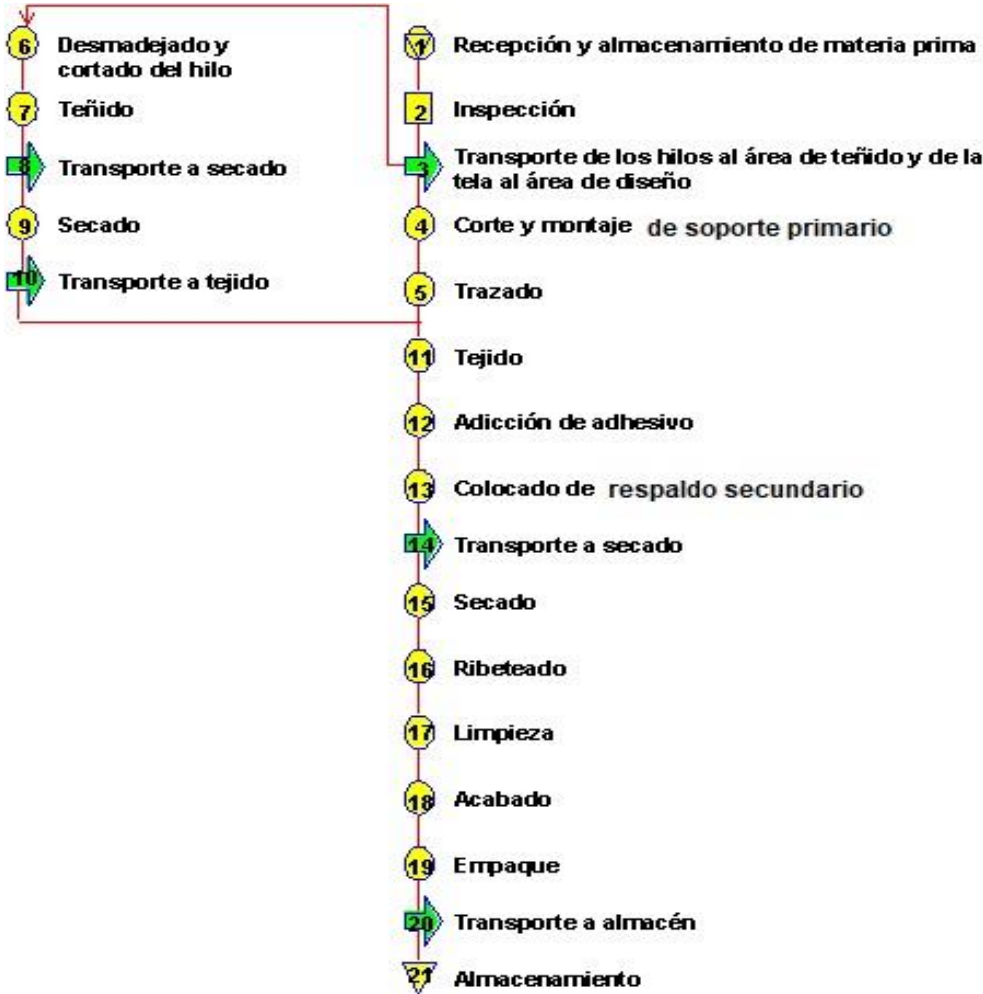


Figura 40. Flujo del proceso de producción de alfombra de lana
Fuente: contactopyme.gob.mx

Descripción:

1. Recepción y almacenamiento de materia prima.- La materia prima para la elaboración de alfombra de lana es: hilo de lana, tela o soporte de polipropileno, anilinas de diferentes colores y látex. El hilo viene en carretes, la tela de polipropileno (soporte primario) proviene en rollos, generalmente de 20 Kg.

La anilina se presenta en costales y el látex se presenta en tanques o botes. La función del almacén de materia prima es recibir, clasificar y surtir al proceso.

2. Inspección.- Se realizan pruebas a la materia prima para verificar sus características, entre otras:

- Hilo: tenacidad (3-4 grs./denier), elongación (65-80 %) y encogimiento (6 % máximo).
- Soporte primario: peso (200 grs / m²) y resistencia (287 grs - gramos fuera).
- Soporte secundario: peso (80 grs / m²) y resistencia (155 grf.)
- Látex: Viscosidad (500 CPS), PH (8.7 - 9.2) y adhesividad (5 LBS /F mínimo).
- Anilina: rendimiento, solidez a la luz y al lavado.

3. Transporte de los hilos al área de teñido y de la tela al área de diseño.- Los hilos se transportan manualmente o en carros, mientras que los rollos de soporte de polipropileno se trasladan manualmente o con montacargas.

4. Corte y montaje del soporte primario .- Se mide la tela (soporte primario) y se marcan las medidas requeridas para ser cortada con equipo de corte, enseguida se coloca el soporte primario ya cortado, quedando completamente estirado.

El corte del soporte se debe realizar dejando unos 10 cm. extra por lado, para que en este espacio el bastidor sujete a la tela. También se corta el soporte secundario, cuyas dimensiones serán de tamaño igual al de la alfombra a fabricar.

5. Trazado.- Esta actividad consiste en dibujar el diseño sobre el soporte primario, lo que servirá de guía para el tejido y la aplicación de los colores que se usarán en el bordado. El secado de la tinta es instantáneo.

6. Desenredado y cortado del hilo.- El hilo se va desenredando y mientras se realiza esta actividad, se corta en longitudes de aproximadamente 2 mts. para facilitar su manejo en el teñido. Los hilos cortados se colocan en hileras.

7. Teñido.- En esta actividad se efectúa el proceso de coloración de los hilos a través de anilinas, debido a que se recibe en colores naturales: blanco, negro y gris.

Realmente los hilos que se pueden colorear son el blanco y el gris.

Los hilos se introducen en una tinta con agua a la que se le agrega la anilina. El contenedor, que es de aluminio, tiene unos serpentines por donde circula vapor de agua, lo que calienta el contenido a 90° C manteniendo el agua en ebullición durante 30 minutos. Después de esto se extrae el agua del tanque por medio de una salida de agua y se espera unos minutos hasta que el hilo tenga una temperatura manejable. El proceso es el mismo para cada color que se necesite.

8. Transporte a secado.- Los hilos se trasladan manualmente o con carros al área de secado.

9. Secado.- Los hilos son colocados en ganchos y se dejan secar al aire libre o bien usando un ventilador industrial.

10. Transporte a tejido.- Los hilos se transportan al área de tejido, manualmente o por medio de carros.

11. Tejido.- El objetivo de esta actividad es insertar el hilo de lana en el soporte primario. mediante una aguja de metal, diseñada para este uso. La aguja se va insertando sobre las guías del dibujo realizado previamente, cambiando de hilo cuando el color de la figura a realizar así lo requiera. El tejido en este tipo de alfombras se realiza con hebras continuas.

12. Adición de adhesivo.- Cuando el bordado de la alfombra queda concluido, el bastidor se voltea y se le aplica a la parte trasera una capa de látex, producto adhesivo utilizado para evitar que los rizos de lana se desprendan del soporte primario y, por otro lado, unan la parte inferior del tapete con el soporte secundario. La aplicación del látex se realiza por medio rodillos. El látex es una solución con una viscosidad de 5.000 a 15.000 centipoise.

Normalmente se aplican 750 a 1200 g de látex por metro cuadrado.

13. Colocado de soporte secundario.-

El rollo de soporte secundario se coloca con cuidado sobre el revestimiento de látex y el conjunto se comprimen con un rodillo.

14. Transporte a secado.- La alfombra se transporta al área de secado.

15. secado

Este laminado, que se mantiene plano y sin curvar, pasa por un horno largo, de 24 a 49 metros de longitud, donde se seca a temperaturas de 115 a 150 °C durante 2 a 5 minutos en tres zonas de calentamiento. El soporte secundario es un refuerzo que dará estabilidad dimensional, consistencia y peso adecuado a la pieza terminada.

Debe cuidarse que tenga alta resistencia a la degradación por humedad que no desprenda olores ni permita reproducir microorganismos.

Generalmente se usa un soporte secundario, fabricado con polipropileno, con peso de 138 g / m² a esta tela se le aplica un antiderrapante.

16. Ribeteado.- Cuando la alfombra se encuentra completamente seco se realiza el ribeteado, operación que consiste en poner el tapete con la cara hacia el piso y doblar los 10 cm. que sobran de la tela primaria, hacia la tela secundaria y pegarla a éste con la cinta de biés, que ya contiene adhesivo. Para que el biés pegue adecuadamente, se debe aplicarla con plancha eléctrica.

17. Limpieza.- Una vez adherido el biés se voltea el tapete y se procede a darle una limpieza con cepillos.

18. Acabado.- Esta actividad consiste en quitar o cortar residuos de hilo y puntas, así como dar relieve a alguna figura. El relieve se realiza rebajando con cuchillas los hilos de alguna figura tejida en el tapete.

19. Empaque.- La moqueta debe superar un exhaustivo proceso de inspección y se embala y se almacena, o se corta, se embala y se expide. También se usan para el empaque cilindros de cartón, donde se introduce la pieza; con este tipo de empaque no se necesita agregar unicel.

20. Transporte al almacén.- El tapete ya empaquetado se traslada al almacén de producto terminado, el cual debe ser un lugar fresco y con humedad media (50 %)

21. Almacenamiento.- Finalmente el producto terminado se almacena.

Un día tradicional de operaciones

El proceso productivo para la elaboración de alfombra de lana se hace en forma continua, coordinando cada operación. En virtud de lo anterior, la pequeña empresa por lo general opera 2 turnos de trabajo, el primer turno de 7:00 de la mañana a 15:00 hrs y el segundo turno de las 15:00 hrs a 22:30 hrs. Al inicio del día el encargado de producción verifica la asistencia del personal para la elaboración alfombra, así como las necesidades de mantenimiento y reparación de equipos. Una vez realizado lo anterior el jefe de turno, coordina el inicio de la fabricación. Al terminar cada actividad del proceso, se prosigue con otra, por lo que no se pierde la continuidad en el mismo, tal como se indicó en la explicación a detalle del proceso productivo. Al finalizar el día se evalúa el cumplimiento de las metas establecidas, implantando los mecanismos que considere necesarios para solucionar los problemas presentados.

DIAGRAMA DE PROCESO.

Producción Industrial de alfombra de lana

Con la materia prima lista, inicia el proceso industrial. En la Figura 1, se aprecia un diagrama de flujo sobre la producción de alfombra de lana, cada paso va a ser explicado con detenimiento a continuación.

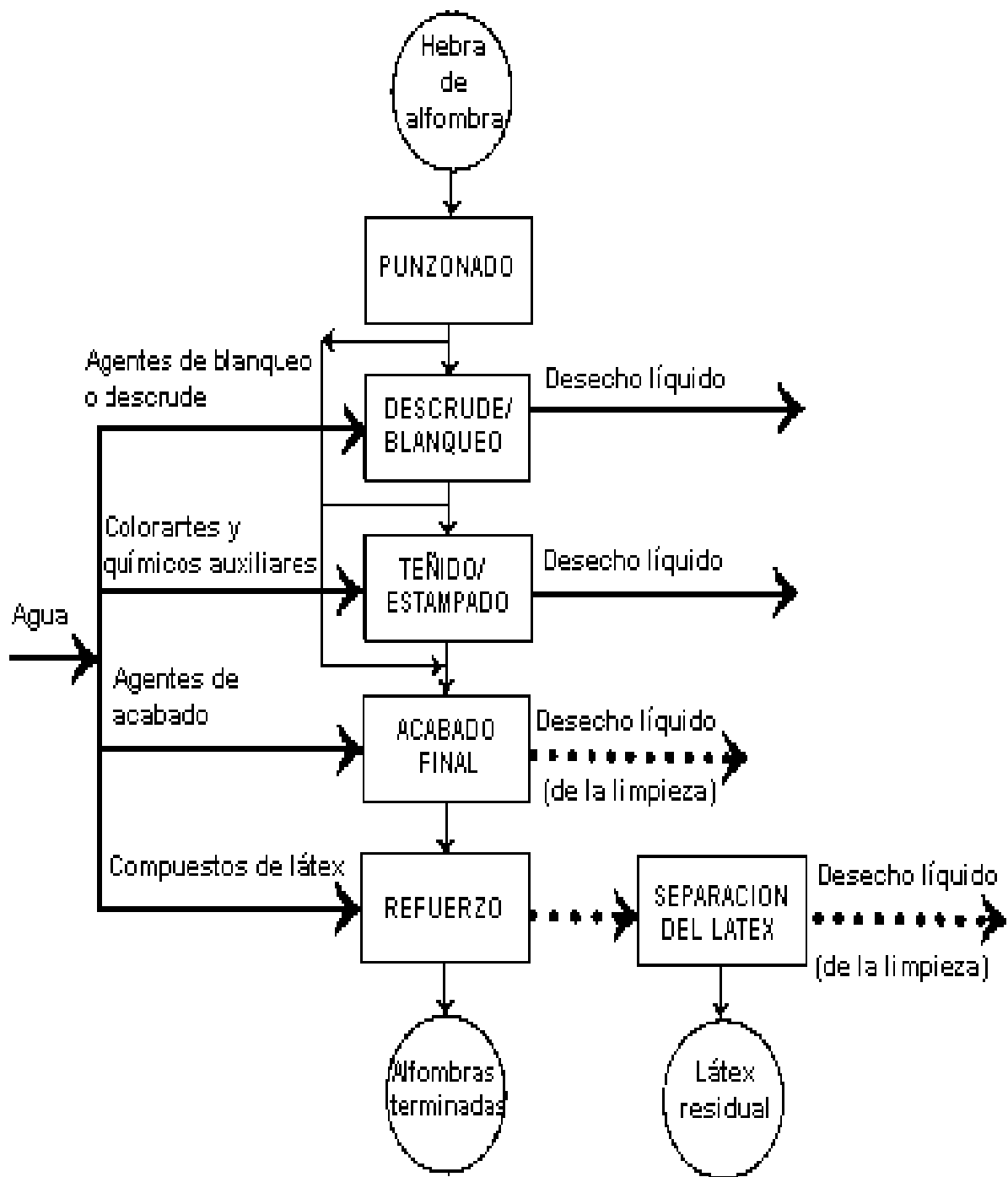


Figura 41. Diagrama de flujo de la fabricación de una alfombra de lana Fuente: (OMS,1997)

El punzonado es un proceso mecánico que se lleva a cabo en máquina, su función es unir las hebras de lana con la base, generalmente hecha de polipropileno o yute. (OMS,1997). Por otro lado, en el descruce o blanqueo se generan desecho líquidos por el uso de soda caustica, para quitar las manchas presentes en la lana (Quezada,2006). Sigue la zona del teñido, donde los colorantes se insertan a la tela a través de los enlaces covalentes en su fórmula. (Greenpeace, 2005).

En la tinturación de la lana se utilizan diversos metales colorantes como son: colorantes ácidos, metalizados y colorantes con cromo, siendo estos últimos los más peligrosos para el medio ambiente por su alta toxicidad (Deepali,2011).

Finalmente, se refuerzan las uniones de los hilos de la alfombra con compuestos a base de carbonato de calcio.

**Tabla 14. Entrada de químicos en la producción de alfombra de lana.
Tomado de Praire Village, 2010.**

Aporte	<i>kg/kg (= lb/lb)</i> Hilado de lana
Estabilizador	0.030
Tripolifosfato de sodio	0.015
Peroxido de hidrogeno (35%)	0.200
Acido formico (85%)	0.002
hidrosulfito de sodio	0.008

Es un hecho que la contaminación al ambiente, y en específico al agua, se produce durante la extracción de la materia prima y la fabricación de la alfombra. Sin embargo, el gasto energético que implica la creación de este elemento es considerable, y está alrededor de 9.92 MJ/h .

Tabla 15. Energía requerida a lo largo del proceso industrial de la alfombra de lana.
Tomado de Praire Village 2010.

Energía requerida	<i>MJ/m² (kWh/ft²)</i>
Electricidad	1.79 (0.05)
Gas natural (boiler industrial)	8.13 (0.21)
Total	9.92 (0.26)

La distribución

Esta fase consiste en el transporte de la alfombra terminada hacia los puntos de venta. El principal contaminante al ambiente durante este proceso se da por el uso de combustible fósil, que se transforma en CO₂ (gas de efecto invernadero) y es eliminado al aire a través del tubo de escape de camión que transporta el producto final. (Testo, 2006)

Vida útil

Las alfombras de lana son muy apreciadas en el mercado debido a su aspecto suave y decoroso. Las alfombras hechas con base de polipropileno o yute son de gran durabilidad y son antiestáticas, no retienen polvos. Son ideales para uso residencial y también para sectores que requieren un ambiente de categoría y nivel (Matinez, 2016) Esta clase de alfombras son muy eficientes para aislar el sonido ruido, lo que las convierte en una buena opción para habitaciones grandes. (Zorrilla, 2015) Con el mantenimiento adecuado alcanza un tiempo de vida medio de 25 años (Praire,2010).

Desecho

Al final de su vida, el 90% de las personas desechan la alfombra de lana sin considerar la posibilidad de reciclado. (Praire,2010).

CÁLCULO DE CIRCULARIDAD CON EL ACV.

Objetivo: Obtener por medio de la metodología del ACV (ISO1, 2016; ISO2, 2016), la identificación de los impactos ambientales potenciales ocasionados por la generación de los residuos de PUR en la etapa de espumado en la manufactura de refrigeradores de uso doméstico de una empresa ubicada en El Bajío, que derivado de este, se pueda realizar una propuesta de mejora para la empresa de los impactos ambientales detectados.

Alcance:

Este estudio Gate to Gate, lo que significa que se evaluará el proceso desde una etapa intermedia hasta otra. De acuerdo con el objetivo establecido, lo incluido dentro del sistema son todas las corrientes de entrada y salida delimitadas en el diagrama del ciclo de vida de la fabricación del refrigerador siguiente

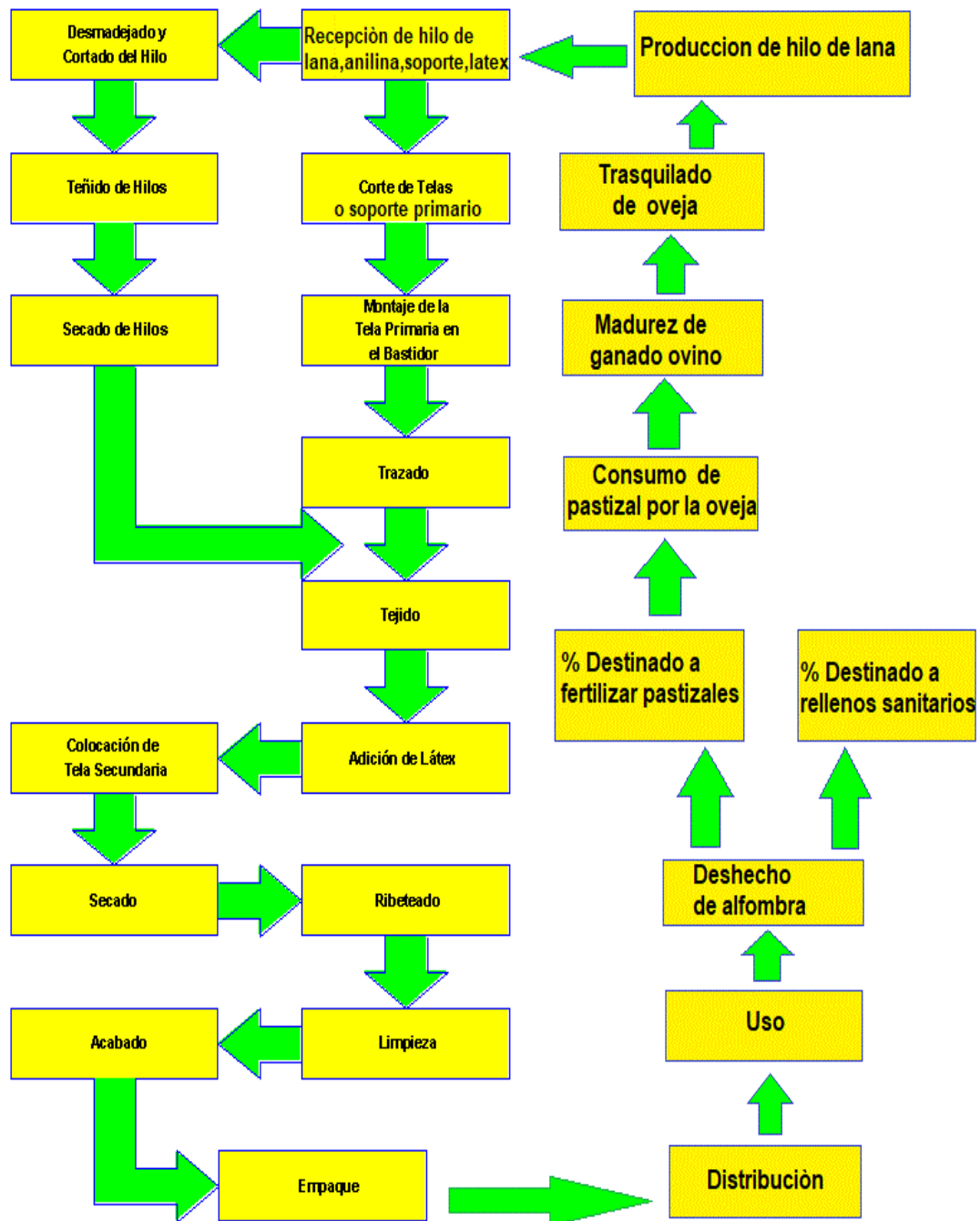


Figura 42. Ciclo de vida de la fabricación de alfombra de lana.
(Fuente: Elaboración propia).

Función del sistema estudiado.

El residuo generado al terminar el proceso de producción de alfombras de lana en UK.

Límites del sistema.

La industria textil en general y la industria de alfombras en particular, generan otros residuos que están fuera del alcance del estudio, dado que no existen análisis de ciclo de vida para polímeros que tardarían muchos años en degradarse de manera natural por ello al ser la lana el tercer polímero más usado en la industria de las alfombras en UK y cuya característica orgánica le permite cerrar el ciclo de vida, algo que sin duda representa una muestra significativa, del impacto ambiental, social y económico que involucra la disposición final de dichos residuos de esta índole.

Los límites del sistema incluyen las materias primas y los flujos de energía asociadas a todas las etapas delimitadas. Los datos corresponden al periodo de fabricación del año 2014.

Las entradas y salidas del sistema son las siguientes

Ciclo de vida de una alfombra de lana.

Desarrollo:

El ciclo de vida de una alfombra de lana inicia con la recolección del material principal para su fabricación, en este caso, la lana.

La producción de lana se concentra en países industrializados de zonas templadas, ya que se requiere de un considerable gasto en maquinaria para cubrir la ingente demanda del mercado a nivel mundial (Muthu, 2015). El proceso productivo de la lana se divide en dos grandes fases: la primera es la producción de la materia prima que se

realiza en campo y La segunda es una serie de procesos a nivel industrial. (Benítez, 2008).

La primera fase consiste en la crianza de la oveja. Este es un proceso extensivo el cual necesita principalmente de un terreno libre de plantas para su desarrollo. La crianza dura 5 años hasta que la oveja alcanza un volumen de lana considerable para iniciar con el proceso de esquila con rasuradoras eléctricas. (Benítez, 2008)

La fase industrial comienza con el cardado, donde las plantas manufactureras clasifican la lana tomando en cuenta parámetros como: calidad, largo de la mecha, resistencias y uniformidad que garanticen su calidad (FLA,2012).

A continuación, se lava la lana con el fin de separarla de las grasas, carnes y cueros residuales, en el lavado se aplican detergentes y agua caliente por bateadas de remojo durante periodos de una hora. Le sigue la fase de secado a máquina con temperatura constante para evitar daños en la calidad de la lana (UNMSM ,2009) .

El siguiente proceso consiste en la eliminación de residuos vegetales, mediante la aplicación de una soluciones acidas y básicas que destruyen el material vegetal sin deteriorar la fibra.

Luego está el proceso de cardado mecánico donde, la lana pasa por varios cilindros con púas que la separan y crean mechas con una textura suave y resistente (FLA, 2012).Finalmente, está la sección de peinado e hilado donde la lana es estirada y queda lista para su venta.

La contaminación ambiental se da, principalmente, en las fases de lavado y eliminación de residuos vegetes, donde el agua de ingreso termina contaminada por grasas del animal, además, de ácidos. Una vez que los residuos son desechados al efluente de agua, éste se ve afectado ya que se producen cambios considerables en parámetros como: DBO, DQO, sólidos disueltos, coliformes totales, coliformes fecales, cantidad

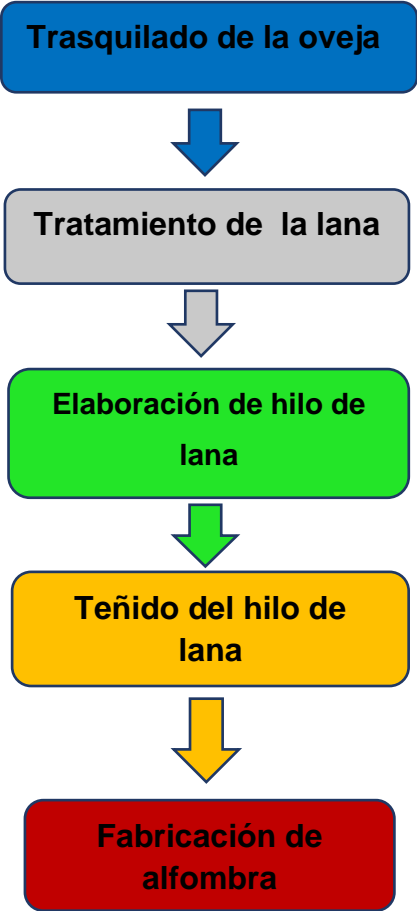
de aceites y grasas, siendo estos el resultado de un mal manejo de desechos por la falta de un tratamiento previo (Álvarez, F.2010) .

Además de las afectaciones en el agua, todos los procesos industriales requieren un alto uso de energía.(Muthu, 2015).En la tabla 1 se resume la cantidad de energía requerida para producir la lana y los contaminantes obtenidos a l final de la línea productiva.

Tabla 16. Flujo de entrada y salida en la cadena productiva de lana de oveja. Incluye energía requerida y contaminantes. Tomado de: Praire Vilage, 2010.

Flujo	Cantidad por Kg (por lb) hilados de lana
Entrada	
Gas natural	5.375 MJ (3.29 kWh)
Electricidad	0.70 MJ (0.43 kWh)
Lubricante	0.063 kg (0.31 lb)
Agua	37.5 L (21.79 gal)
Salida	
Hilado de lana	1 kg (4.85 lb)
Acidez debido a las emisiones	
Demanda bioquímica de oxígeno	4.125 g (0.02 lb)
Demanda bioquímica de oxígeno	11.625 g (0.06 lb)

Tabla 17. Entradas y salidas del sistema delimitado. Fuente: Elaboración propia).

ENTRADAS	ETAPAS DEL PROCESO	SALIDA
Electricidad	 <p>Trasquilado de la oveja</p>	Lana de oveja
Gas natura Lubricante Agua	Tratamiento de la lana	Lana sin contaminantes Emisión al agua (partículas) Emisión al a (partículas)
Electricidad	Elaboración de hilo de lana	
Gas natura Lubricante Agua	Teñido del hilo de lana	Carretes de hilo
Electricidad Gas natura Lubricante Agua	Fabricación de alfombra	Hilo teñido de distintos colores Emisión al agua (partículas) Alfombra terminada Emisión al agua (partículas) Emisión al aire (partículas)

Unidad funcional.

Kilogramos de residuo generado por la fabricación de una alfombra , es decir, 0.12 kg de residuo de hilo /kg de alfombra.

Análisis del ICV

Los datos que a continuación se presentan, se obtuvieron de los reportes de producción de alfombra en UK y de bitácoras de operación de una empresa de esta índole.

**Tabla 18. Inventario de materia prima utilizada para elaboración de alfombra en UK con destino a relleno sanitario.
(Fuente: Elaboración propia)**

PRODUCTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA
ALFOMBRAS TOTALES	400000	TONELADAS/AÑO
ALFOMBRAS DE NAILON	64000	TONELADAS/AÑO
ALFOMBRAS DE POLIPROPILENO	202000	TONELADAS/AÑO
ALFOMBRAS DE SINTETICOS MIXTOS	47000	TONELADAS/AÑO
ALFOMBRAS DE LANA	62000	TONELADAS/AÑO

**Tabla 19. Inventario de materia prima utilizada para elaboración de alfombra de lana por año en UK con destino a relleno sanitario.
(Fuente: Elaboración propia)**

MATERA PRIMA	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	kg/ kg de lana
LANA	62000	TONELADAS/ AÑO	0.95
ESTABILIZADOR	5580	KILOGRAMOS/ AÑO	0.030
TRIPOLIFOSFATO DE SODIO	2790	KILOGRAMOS/ AÑO	0.015
PEROXIDO DE HIDROGENO (35%)	12400	TONELADAS/ AÑO	0.2
ACIDO FORMICO (85%)	124000	KILOGRAMOS/ AÑO	0.002
HIDROSULFURO DE SODIO	496000	KILOGRAMOS/ AÑO	0.008
LATEX	22913043.4	KILOGRAMOS/ AÑO	0.850
POLIPROPILENO	7547826.08	KILOGRAMOS/ AÑO	0.280

**Tabla 20. Inventario promedio de materiales por una pieza de alfombra de lana.
(Fuente: Elaboración propia)**

CONSUMOS POR UNA PIEZA DE ALFOMBRA	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA
ALFOMBRA DE LANA DE 1 m ²	2.3	Kg/ m2
ESTABILIZADOR	0.030	Kg/ m2
TRIPOLIFOSFATO DE SODIO	0.015	Kg/ m2
PEROXIDO DE HIDOGENO (35%)	0.200	Kg/ m2
ACIDO FORMICO (85%)	0.002	Kg/ m2
HIDROSULFURO DE SODIO	0.008	Kg/ m2
ELECTRICIDAD	1.79	MJ/ m ²
GAS NATURAL (boiler industrial)	8.13	MJ/ m ²
LATEX	0.850	g/ m ²
POLIPROPILENO	0.230	g/ m ²

Tabla 21. Inventario de insumos en la elaboración alfombra de lana.
(Fuente: Elaboración propia)

PROCESO	INSUMO	EQUIPO	CANTIDAD POR KG DE HILO DE LANA	CANTIDAD/ AÑO
TRASQUILADO DE LA OVEJA Y TEJIDODE ALFOMBRA	ELECTRICIDAD	RASURADORA INDUSTRIAL	1.79 MJ/ m2	48252173.9 MJ/ m2
LIMPIEZA DE LANA (DESCRUDE) HORNO	GAS NATURAL	BOILER INDUSTRIAL	8.13 MJ/m2	219156521 MJ/ m2
LAVADO DE LA LANA	AGUA	BOILER/TANQUE	37.5 L	2.325e9 L
LUBRICACIÓN	LUBRICANTE	BOILER /TANQUE	0.063 kg	1698260.87 Kg
COLOCACION DE LATEX	LATEX	RODILLOS	0.850	22913043.4 Kg
COLOCACION DE SOPORTE	POLIPROPILENO	CUCHILLA	0.230 kg	7547826.08 Kg

CÁLCULO DE LA CIRCULARIDAD CON EL CET.

También se realizó el cálculo de circularidad utilizando el CET del polímero lana en las diversas áreas y aspectos, obteniéndose un POTENCIAL ALTO DE MEJORA en las fases de reciclaje, re-manufactura/renovación, mantenimiento/repación y producto como servicio; POTENCIAL MEDIO DE MEJORA en las fases de uso y reúso, lo anterior con base en los autores Evans J. y Bocken N (2013).

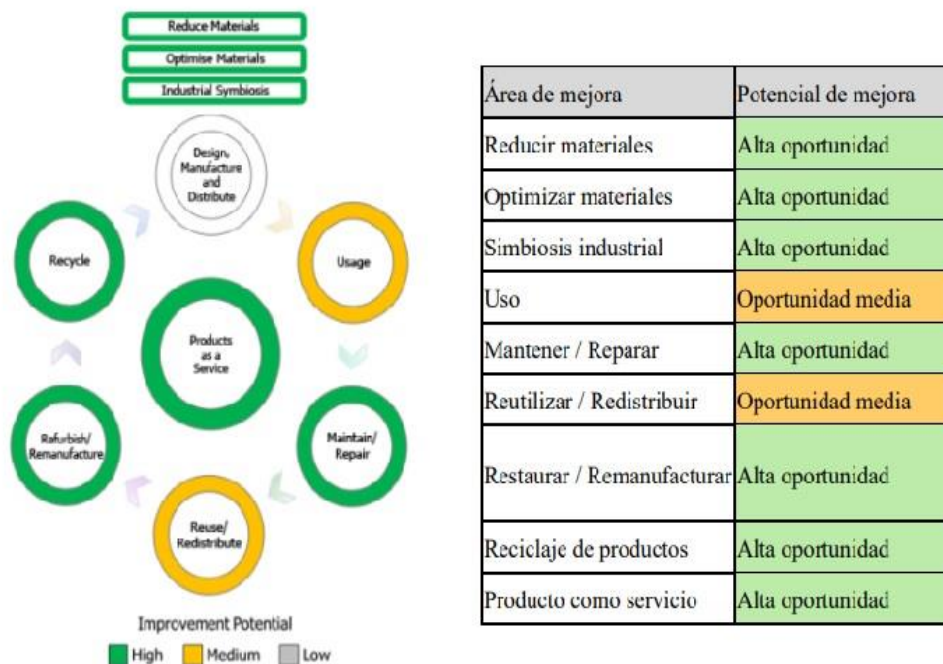


Figura 43. Resultados del CET. (Fuente: Elaboración propia)

Evaluando la circularidad del producto de alfombra de lana terminada con el CET se obtuvo POTENCIAL ALTO DE MEJORA en las áreas de:

1 Reducción de materiales, debido a que la empresa consume una gran cantidad de materias primas que además estas son vírgenes con un desperdicio del 12 % que puede ser usada como materia virgen debido a que no presenta contaminantes por ser preconsumo; 2 Optimización de materiales, en virtud de que se generan grandes cantidades de residuos y que en el caso de la lana se envía al relleno sanitario o en su defecto al ser también un subproducto de la ganadería ovina se desecha de manera clandestina; 3 Simbiosis industrial, ya se aplica teniéndose como oportunidad el brindar a los residuos para ser utilizados como materia prima de otra empresa, por ejemplo los residuos de lana son usados para fertilizar pastizales para alimentar ganado ovino cerrando así el ciclo; 4 Mantenimiento/ reparación, la lana es extremadamente durable, resiste a la fricción y mantiene una buena apariencia durante mucho tiempo; 5 re-manufactura/ restauración, Las nuevas tecnologías y consciencia del consumidor ha exigido al fabricante la oportunidad de dar mantenimiento a este tipo de alfombras y con la innovación de las alfombras modulares es aún más fácil reparar solo la parte dañada de la alfombra ,evitando cambiar la alfombra por completo; 6 reciclaje de producto, en virtud de que existen bajas tasas de reciclaje de las alfombras post-consumo 7 y finalmente la etapa de producto como servicio, debido a que el fabricante de alfombras y empresas en UK ofrecen el producto y el servicio de mantenimiento pudiendo lograr en un esquema de renta para su constante renovación para evitar su obsolescencia. Por otro lado, se obtuvo POTENCIAL MEDIO DE MEJORA en las áreas de: 1 uso, debido a que el consumo de energía varía de acuerdo con el polímero seleccionado y en algunos procesos establecidos no cuenta con el modo de ahorro; 2 reutilización/ redistribución en virtud de que el mercado de segunda mano no es formal y requiere de estructura.

Para IMPACT 2002+

se han desarrollado nuevos conceptos y métodos, especialmente para la evaluación comparativa de la toxicidad humana y la ecotoxicidad, así como la inclusión de los impactos de los residuos contaminantes vertidos a agua, la DBO y DQO, así como el consumo de agua.

Considera varias categorías intermedias, que cuantifica los consumos energéticos como de materia prima, considerando que la alfombra es una mezcla de polímeros tanto sintéticos como naturales su combustión tiene efectos cancerígenos, de toxicidad humana (estas dos categorías a veces se agrupan en una categoría: toxicidad humana), efectos respiratorios (debidos a sustancias inorgánicas, solventes, colorantes, retardantes de flama), radiación ionizante, agotamiento de capas, oxidación fotoquímica, ecotoxicidad acuática, ecotoxicidad terrestre, acidificación acuática, eutrofización acuática, acidificación / fortificación terrestre, ocupación del suelo, acidificación del agua, calentamiento global, consumo de energía no renovable, extracción de minerales, extracción de agua y consumo de agua.

El impacto y el alto consumo de energía y materia prima de manera indiscriminada ha generado esta serie de consecuencias ambientales que han sido consecuencia de un abandono de la problemática respecto a la disposición final y reciclado de alfombras en todo el mundo tanto de polímeros naturales como artificiales.

Las puntuaciones abordadas se expresan en unidades de consumo de una sustancia de referencia en este caso la lana y su consumo energético que se relacionan directamente con las cuatro categorías de daños: salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos.

4.4. PROPUESTA DE PLAN DE ACCIÓN.

4.4.1. Alcance futuro del reciclaje de alfombras

Las alfombras son partes esenciales de la mayoría de las viviendas y lugares públicos; brindan calidez, elegancia y comodidad a los ambientes de vida y de trabajo. Por lo tanto, es poco probable que disminuya su uso; sin embargo, para garantizar una existencia armoniosa y una producción sostenible, la próxima generación de alfombras debe evolucionar para incluir la novedad en el diseño, el material, la construcción y el despliegue con la simplicidad inherente en el desmontaje y el reciclaje a costos asequibles.

Aparte de las inversiones, los tecnólogos y los fabricantes están a la vanguardia de lo que hay que hacer; sin embargo, solo se les persuadirá para que evolucionen cuando existan leyes estrictas sobre el vertido de vertederos,

fuertes multas y controles las 24 horas del día y los costos de no hacer nada o muy poco ya no sean asequibles.

4.4.2. Estado actual del reciclaje de alfombras.

Las moquetas fabricadas a máquina, en particular las moquetas tufting, son esencialmente estructuras compuestas formadas por diferentes componentes que incluyen fibras/hilos o pelos superficiales, soportes primarios y/o secundarios y adhesivos/resinas, que se utilizan para asegurar y mantener la integridad de la alfombra terminada.

Para poder reciclar dichas estructuras, es necesario desmontar todo el conjunto en sus componentes constituyentes.

Generalmente, las fibras de la superficie de las alfombras tufting representan el 40 % del peso de la alfombra y el 60 % restante incluye todos los demás componentes. La eliminación de las fibras de la superficie es relativamente simple y puede cortarse; sin embargo, separar el resto es mucho más desafiante y no siempre rentable.

La separación física es casi imposible con cualquier grado de precisión y el uso de solventes para disolver partes de la estructura no solo es costoso, sino que también crea su propia contaminación. Según el tipo de materiales sintéticos utilizados, las fibras de la superficie podrían despolimerizarse a sus unidades monoméricas y volverse a polimerizar para lograr polímeros de calidad virgen. El nailon 6 procesado por Shaw Industries. (M. McCoy, 2006) es una de esas técnicas; sin embargo, el costo de la despolimerización y posterior polimerización no siempre justifica los costos de producción. Alternativamente, podrían fundirse y usarse como resinas de ingeniería con propiedades moderadas a buenas. (Davies, KA, Orr, W., 2000)

Las fibras sintéticas producidas a partir del petróleo, como el poliéster y el nailon, representan un riesgo significativo para el medio ambiente porque no son biodegradables.

La industria de las fibras sintéticas es responsable de más del 20% de la contaminación industrial del agua en el mundo porque la producción de estas fibras requiere mucha agua, y el agua contaminada se bombea nuevamente después de su uso en los océanos, mares y ríos, lo que causa un grave peligro para los organismos.

La producción de nailon emite óxido nitroso, que es muy peligroso para la capa de ozono 300 veces más que el dióxido de carbono.

Un estudio realizado por Lemieux et al. (2004) mostró un aumento del 110 % en las emisiones de NOx de las alfombras de fibra frontal de nailon en comparación con el carbón. Estas mayores emisiones de NOx son el resultado de un mayor contenido de nitrógeno en la alfombra de nailon en comparación con el carbón (Tousey, 2011; Lemieux et al., 2004).

Las disposiciones finales de residuos textiles en general y de alfombras en particular que representan un impacto significativo, son los descritos anteriormente: Reprocesamiento de plástico, reprocesamiento de fibras, alfombras reusadas, superficies ecuestres, la producción de resinas de ingeniería con propiedades moderadas a buenas, y por último energía a partir de la combustión.

Esta última con un porcentaje de 58% y en aumento supone una de las soluciones más viables y rentables en cuanto a desvío de residuos a vertederos, sin embargo, debe existir un tratamiento previo que minimice el impacto ambiental de esta práctica, un claro ejemplo lo podemos observar en la despolimerización y recuperación de nailon con calidad de materia virgen de alfombras hechas con fibra de nailon, reduciendo significativamente la generación de óxido nitroso, posterior a la combustión, las cenizas resultantes como subproducto por su alto contenido en carbonato de calcio puede ser utilizada en la fabricación de cemento. los costes económicos de tratar los residuos de alfombra antes y después de la combustión pueden resultar elevados pero un futuro sustentable bien vale el esfuerzo.

Claramente, si se va a abordar el reciclaje de alfombras de manera seria, es necesario cambiar mucho en la tecnología de producción de alfombras, el compromiso del gobierno en forma de inversión, legislaciones y conciencia del consumidor. Estos se elaborarán más detalladamente en la siguiente sección.

Las fibras textiles de origen animal, comprenden a las lanas producidas por los ovinos, con sus diferentes aptitudes de aplicación, para vestimenta o alfombra

Se considera a la LANA como la "Reina de las Fibras", puesto que sus propiedades naturales y sus aptitudes, a pesar de los intentos hechos por el hombre, no han podido ser igualadas. La lana, por otra parte, es una fibra natural, renovable, no contaminante y biodegradable. La creciente conciencia de que el mundo es frágil y que debemos preservarlo, ha incrementado el interés por los productos que la naturaleza brinda directamente, sin alterar el equilibrio ecológico. La lana, es uno de los pocos elementos que se utilizan para la finalidad para la que fue creada por la propia naturaleza: servir de aislante entre el rigor del clima, cálido o frío y un cuerpo vivo (FLA, 1998).

Es renovable: no depende de una fuente que se agota con su explotación, como los hidrocarburos que proveen la materia prima para fibras elaboradas por el hombre. Es biodegradable, al ser una materia orgánica que no contamina. Si bien se destaca por su resistencia y durabilidad, si se la abandona, se integra al medio como proteína que se incorpora al ciclo biológico de otros seres vivos.

Los desechos de la oveja se distribuyen en forma aperdigonada y tienen una capacidad de fertilización muy superior a otros métodos naturales o artificiales de enriquecimiento del suelo. Sin embargo, tales cualidades contrastan con la escasa participación que tiene en el mercado mundial de fibras, de menos del 5 %.

La oveja es la mejor fábrica de textil que existe en el mundo. La oveja es una fábrica que trabaja incansablemente las 24 horas. Cada fibra de lana Merino crece aproximadamente 0.3 mm por día, de manera que una oveja es capaz de producir en un año 9.000 Km. de fibra. La principal función de la lana en los animales es de protección. El conjunto uniforme de fibras que cubren el cuerpo del ovino se conoce con el nombre de Vellón.

El vellón, por lo tanto, tiene como función principal mantener la temperatura del cuerpo dentro de sus valores normales. En ese sentido, la interfase lana - aire que se interpone entre la piel y el medio ambiente, actúa como aislante térmico.

Considerada una "Obra maestra de la Naturaleza", la ciencia no ha podido producir otra fibra que posea sus propiedades naturales, dentro de las cuales, las de mayor importancia son:

AISLANTE: La lana es tanto aislante del frío como del calor. Por su capacidad higroscópica, las fibras absorben la humedad ambiente y corporal, generando una interfase de aire seco, que se comporta como aislante térmico. A su vez, al ser la evaporación de la respiración el mejor dispositivo de enfriamiento del cuerpo y al ser absorbida esa evaporación por las células cuticulares de la lana, se mantiene una temperatura corporal uniforme.

SALUDABLE: Por su capacidad aislante protege contra los cambios bruscos de temperatura. Además, su poder higroscópico le permite absorber hasta un 30 % de humedad ambiente sin mojarse. El Sitio de la Producción Animal.

REPELENTE AL AGUA: La disposición de las células escamosas que recubren su superficie, al hacer rodar los líquidos, impide la penetración del agua.

RESISTENTE AL FUEGO: La lana es un elemento que no se inflama ni se derrite. En contacto con el fuego forma un "botón carbonoso". Esta propiedad que es uno de los atributos de mayor utilidad práctica, es empleada para la fabricación de alfombras ("carpet wool").

RESILIENCIA: La lana es naturalmente elástica. Puede ser retorcida y estirada y regresar a su forma normal más que cualquier otra fibra; en ambientes húmedos hasta un 70 % y en ambientes secos hasta un 30 %. Esta propiedad, en la práctica se traduce en la libertad de movimientos que otorgan las prendas fabricadas con lana. USO

PROLONGADO: La lana es extremadamente durable, resiste a la fricción y mantiene una buena apariencia durante mucho tiempo. **VERSÁTIL:** Pueden fabricarse con distintos tipos de lana tanto telas como géneros de punto, alfombras o fieltros, lo que hace que sea una materia prima muy versátil.

RESISTE LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA: El poder higroscópico de la lana, expresado como la capacidad para absorber humedad, impide la electricidad estática.

AISLANTE CONTRA RUIDOS: Se ha comprobado que es capaz de absorber sonidos, en virtud a la interfase aire - fibra, razón por la cual al reducir los niveles de ruido, se emplea en forma de láminas en teatros y auditorios.

RESISTENTE A LA SUCIEDAD: La humedad normal que toda lana posee, al disminuir la electricidad estática repele el polvo, el aire y la tierra del ambiente.

CONFORTABLE: Por su elasticidad, que permite una amplia libertad de movimientos y su capacidad higroscópica, las prendas fabricadas con lana son sumamente confortables.

FÁCIL TEÑIDO: La lana como materia prima textil debe ser blanca. La presencia de fibras coloreadas se considera un defecto serio, que se castiga en el precio; por lo tanto es apta para ser teñida con facilidad, por una amplia gama de colores.

ELEGANTE: Las prendas elaboradas con lana otorgan prestancia y distinción a quien las usa.

INDUSTRIA

Las alfombras fabricadas a máquina son, en esencia, estructuras compuestas formadas por fibras/hilos o pelos superficiales, respaldos primarios y/o secundarios y adhesivos/resinas, que ayudan a asegurar la resistencia y la integridad de la estructura acabada. Tal vez los futuros tecnólogos e ingenieros podrían desarrollar materiales individuales que muestren diferentes características funcionales en función de su estado físico en lugar de químico, de modo que puedan reciclarse y regenerarse fácilmente sin comprometer su resistencia, comodidad y durabilidad. Las tecnologías de esta naturaleza solo pueden surgir a través de una estrecha cooperación y asociaciones entre los centros de investigación de excelencia y las industrias relevantes con un compromiso total con la eliminación de desechos o prácticas viables de reciclaje.

Un mejor uso de los programas informáticos para generar mediciones personalizadas en los sitios de fabricación o de venta al por menor también podría reducir drásticamente los desechos de ajuste y, en última instancia, beneficiar financieramente a los clientes, además de mejorar la eficiencia de la venta al por menor.

GOBIERNO

El papel de los gobiernos en este esfuerzo colectivo no solo debe recurrir a leyes estrictas y la imposición de multas a los contaminadores, sino que también debe incluir una participación activa en la inversión y promoción de tecnologías de cero desperdicios que adopten enfoques novedosos y ofrezcan soluciones al problema.

Además, los gobiernos deben recompensar a las industrias que ofrecen tecnologías novedosas y tangibles para fomentar una mayor inversión e investigación. También deben involucrarse activamente en educar al público sobre los peligros de los

desechos para el medio ambiente y quizás lo que es más importante, lo que cada persona podría hacer para ayudar en la situación.

Los esquemas de capacitación relacionados con los hábitos de recolección, separación y eliminación de desechos deben convertirse en una segunda naturaleza para todos y ser parte de los problemas de ciudadanía responsable.

CONSUMIDOR

Los consumidores están en gran medida a merced de lo que se les ofrece en el contexto de la asequibilidad y la calidad. Se les puede persuadir de comprar o no comprar si hay beneficios económicos en lo que se les ofrece. Desafortunadamente, las cuestiones sociales y morales, por importantes que sean, a menudo juegan un papel secundario en la decisión de compra de bienes de la mayoría de los consumidores. Tradicionalmente, artículos fabricados a través de procesos de reciclaje o reacondicionamiento de un tipo u otro no tienen una buena reputación debido a que se perciben propiedades inferiores y bajo rendimiento. Para alterar e influir en esta percepción, tal vez justificada, los tecnólogos y los investigadores deben trabajar doblemente para innovar tecnologías novedosas y pioneras que mejoren sustancialmente la calidad de los materiales reciclados sin deficiencias aparentes o inferiores a los productos fabricados con materiales vírgenes. (Miraftab, 2017)

4.4.3 EJEMPLO DE EMPRESA SUSTENTABLE QUE IMPLEMENTA LA ECONOMÍA CIRCULAR.

Interface Carpets decidió transformar la manera que fabricaban alfombras, cambiando la cadena de suministro, el diseño y proceso de producción de un producto basado en petróleo como materia prima a uno que disminuyera el impacto ambiental. Comenzó por rediseñar la lógica de su negocio, creando un sistema llamado alfombras

modulares. Éste consiste en la fabricación de alfombras por medio de módulos y planks (rectángulos), en lugar de rollos. Esto permite facilitar la instalación y el mantenimiento, debido a que de ser necesario reemplazar una zona de la alfombra, se reemplazará única mente esa zona y no la alfombra completa.

En comparación con las alfombras en rollo tradicionales, se generan alrededor de 90% menos residuos, facilitando la recuperación y el reciclaje. La empresa se inspira constantemente en biomimética, una ciencia que se basa en la sabiduría de la naturaleza.

Por lo que, adicionalmente, en lugar de usar los adhesivos tradicionales, Interface Carpets utiliza un sistema llamado TacTiles, cuadrados adhesivos de 3 pulgadas que, al ceñirse al suelo, crean una estabilidad dimensional sin pegamento.

El diseño de TacTiles se inspiró en los geckos, pues estas lagartijas tienen la capacidad de adherirse a las superficies desde cualquier ángulo por la fuerza intermolecular de más de un millón de pelitos en sus patas. El sistema de TacTiles utiliza la fuerza inherente de las bases para crear un "piso flotante " dimensionalmente estable, con mayor flexibilidad para su instalación y reemplazo selectivo; su producción de COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles) es casi nula y su huella ambiental es 90% inferior a los adhesivos convencionales.

Interface Carpets cambió su suministro de producción por una materia prima reciclada, para reducir la dependencia del petróleo y desviar los desechos del relleno sanitario al aprovecharlos como materia prima. Por lo tanto, creó su propio programa de reciclaje integral, Re Entry, para reciclar la fibra de nylon y la base de la alfombra modular. ReEntry es un servicio para el consumidor y el medio ambiente que consiste en recibir las alfombras que terminaron con su vida útil. De este modo, Interface Carpets ha propuesto un modelo de servicio en el que puedes adquirir sus productos, pero comprometiendo al cliente a regresarlo cuando su vida útil haya acabado. Adicionalmente, se presenta la opción de rentarlas, por lo que la empresa se ocupa

del mantenimiento de las alfombras por el tiempo acordado y cuando dejan ser necesitadas, se ocupan del punto final de sus productos.

Otra importante fuente de materia prima proviene del reciclaje de la fibra de nylon gracias a la iniciativa Net-Effect, la cual busca contrarrestar el creciente problema de contaminación en el mar por redes de pescar desechadas que amenazan la supervivencia de arrecifes y biota de las localidades.

Esto se lleva a cabo mediante alianzas con las comunidades costeras más pobres del mundo y colaborando con Zoological Society of London y Aquafil. De este modo, se recolectan las redes, limpiando las playas y mares, y son recicladas en hilo nuevo de nylon para la fabricación de alfombras. Esto se traduce en un ganar-ganar para todos, siendo un modelo que requiere de menor materia prima virgen y es una nueva fuente de ingresos para estas comunidades.

Interface Carpets no ha parado de buscar nuevos retos e iniciativas para alcanzar un nivel de sustentabilidad mayor, pues se encuentran comprometidos en monitorear los Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos durante cada etapa de su proceso.

La empresa ha logrado llegar a un balance neto de carbono, gracias a la neutralización de todas las emisiones, en conjunto con las compensaciones y cambios realizados por su diseño inteligente de producción. De hecho, su línea Carbon Neutral Floors son productos neutros en carbono durante todo su ciclo de vida. En adición, con su programa Climate Take Back, mantienen una fuerte convicción de realizar una descarbonización radical, enfocándose en cuatro áreas específicas de recuperación climática: realizar negocios de manera que devuelvan lo que toman de la tierra, generar productos capaces de capturar el carbono presente en la atmósfera, dirigir una revolución industrial donde la industria trabaje con la naturaleza y no contra ella para crear un cambio positivo, y realizar iniciativas de reconstrucción y preservación de bosques y océanos.

Como podemos ver, la empresa Interface Carpets ha revolucionado el sistema clásico industrial y económico, encontrando el balance en las dimensiones social, económica y ambiental. No obstante, esto solo representó el comienzo de un viaje y compromiso continuo de crecimiento y mejoramiento que posee la empresa, hambrienta de innovar, crecer y contribuir de manera positiva a su entorno.

Ray Anderson asegura que “somos, todos y cada uno de nosotros, una parte de la red de la vida. El continuo de la humanidad. Y tenemos que hacer una elección durante nuestra breve visita a este hermoso planeta vivo, azul y verde, lastimarlo o ayudarlo”. Tomemos decisión y ayudémoslo. (Romero, 2020)

Reciclaje de alfombras en el oeste de Londres.

Una gran proporción de los desechos de alfombras termina en los centros de reciclaje y reutilización domésticos (HRRC, por sus siglas en inglés) o se recolecta a través de la recolección de desechos voluminosos de las propiedades residenciales. Solo alrededor del 25 % de las autoridades de eliminación de desechos (WDA, por sus siglas en inglés) separan los desechos de alfombras en contenedores especiales para su reciclaje. Dado que se estima que hasta el 15% de los desechos residuales en los HRRC son alfombras, existe un gran potencial para desviar más desechos de los vertederos. Una autoridad de residuos de Londres que ha abordado estos problemas con éxito es la Autoridad de residuos de West London.

Seis de los siete HRRC que cuidan ahora están reciclando alfombras, y el siguiente estudio de caso explica cómo y por qué funciona para ellos.

La Autoridad de Residuos del Oeste de Londres.

La Autoridad de Residuos del Oeste de Londres (WLWA) se estableció en 1986 y es responsable de eliminar los residuos recogidos por los distritos londinenses de Brent, Ealing, Harrow, Hillingdon, Hounslow y Richmond-uponThames. Cada año surgen 400.000 toneladas de residuos de alfombras en el Reino Unido. Carpet Recycling UK, el organismo de la industria para el reciclaje de alfombras, estima que actualmente el 28 % de los desechos de alfombras se reprocesan, lo que significa que el 72 % va al vertedero. Es una oportunidad particularmente grande en Londres: dado un recuento de hogares de 3,27 millones y una media de 6,5 kg de residuos de alfombras por hogar al año, existe la posibilidad de reciclar o reutilizar más de 21 250 toneladas de residuos de alfombras al año. Sin embargo, muy pocos distritos londinenses segregan actualmente sus residuos de alfombras. Esto se debe a una serie de razones que incluyen la falta de espacio en el sitio para la segregación y el agrupamiento, y la distancia a los reprocesadores de alfombras (y los altos costos de transporte resultantes). Aproximadamente 1,6 millones de personas viven en esta zona, lo que representa más de 600.000 hogares; esto equivale a unas 3.900 toneladas de residuos de alfombras al año. Los seis distritos cubiertos por WLWA se muestran en la siguiente imagen.



Figura 44 - Municipios cubiertos por WLWA
(Fuente: London Waste & recycling board)

Caso de estudio

Actividades de reciclaje de alfombras en el oeste de Londres.

La WLWA comenzó a investigar el reciclaje de alfombras en octubre de 2012 luego de una revisión de la composición de su flujo de desechos residuales. Habiendo contactado a los reprocesadores para la tarifa de entrada y los costos de transporte, descubrieron que desviar los desechos de alfombras del vertedero ofrecía la oportunidad de aumentar su tasa de reciclaje y ahorrar dinero en la eliminación de desechos.

sus cálculos mostraron que, si la alfombra se pudiera amontonar y compactar en cargas completas, WLWA podría ahorrar un 14 % en costos.

Como resultado, establecieron una relación contractual con Carpet Recycling Group (CRG), con sede en Grantham, para recolectar y reciclar alfombras de sus HRRC. CRG utiliza una tecnología de reciclaje innovadora, lo que significa que puede aceptar una gama de materiales que incluyen losetas de moqueta, capas base, cojines de espuma para sofá y almohadas; esto permitió que la WLWA aumentara su tasa de reciclaje sin requerir espacio adicional para una mayor segregación.

Luego de una prueba exitosa de segregación de alfombras para reciclaje en el Centro de Reciclaje y Reutilización de Hounslow en octubre de 2012, la WLWA implementó las colecciones en seis de sus siete HRRC durante los meses siguientes.

Los detalles de cómo funciona el reciclaje de alfombras en cada uno de los HRRC se muestran a continuación, en la Tabla 22.

**Tabla 22 - Reciclaje de alfombras establecido en cada HRRC.
(Fuente: London Waste & recycling board).**

Instalación de residuos	Configuración de reciclaje de alfombras
1. Hillingdon HRRC, año nuevo verde carril	A granel en el sitio. Se indica a los dueños de casa que coloquen la alfombra en un área especial (esta área cambia todos los días, por lo que no hay señalización específica). Luego, la alfombra se mueve con una pala al final de cada día a una bahía en la parte trasera del sitio, donde se almacena para que CRG la recoja. Obtienen una carga útil de 20-25 toneladas en un contenedor de piso móvil cargado con una cuchara de 360°.
2. Grada HRRC, Conducción hacia adelante	A granel en el sitio. Este es un sitio pequeño sin espacio para un contenedor separado. Agarran el material del contenedor de desechos generales con un agarre de 360° y lo colocan en un compartimiento exclusivo para alfombras.
3. Brent HRRC, Abbey Road	A granel en el sitio. Las alfombras se recogen en un contenedor de 20 yardas dedicado y claramente señalizado. El contenedor se vacía diariamente y se almacena en una bahía en la parte trasera del sitio. Este es un sitio grande, que también acumula material de dos HRRC ubicados en Ealing y de las colecciones de material con punta de mosca.
4. Ealing HRRC, Camino de Greenford	A granel en Brent HRRC. Dirigido por Amey en nombre del Consejo de Ealing. Las alfombras se recogen en un contenedor exclusivo de 40 yardas. No hay espacio para el bulto en el sitio. El sitio compacta los contenedores de alfombras con una cuchara de 360°, lo que significa que pueden transportar 7 toneladas en un contenedor a Brent RRC, en comparación con solo 3,5 toneladas si no se compactan.
5. Ealing HRRC, camino de Stirling	A granel en Brent HRRC. Este es un sitio pequeño administrado por Amey en nombre del Consejo de Ealing. Hay cuatro contenedores de 40 yardas en el sitio, uno de ellos está dedicado a la alfombra y está bien señalizado y el contenedor está claramente etiquetado. No hay espacio para abultar en el sitio, por lo que la alfombra se envía a Brent HRRC. Este sitio no cuenta con ningún equipo para compactar la alfombra en los contenedores, por lo que cada contenedor se transporta con solo 3 a 3,5 toneladas de material en cada contenedor.
6. hounslow hrcc, bodega espacial, Camino del muelle	A granel en el sitio. La alfombra se recoge en un contenedor de 40 yardas que se coloca estratégicamente al final de la fila para evitar la contaminación. Este fue el primer sitio de WLWA en implementar la segregación de alfombras para el reciclaje. CRG recoge cargas completas de este sitio, con capacidad para 20 toneladas. El reprocesador recolecta en promedio de 2 a 3 cargas completas por mes. Los desechos de alfombras comerciales se vierten directamente en la bahía de carga o se extraen del contenedor de desechos comerciales generales.
7. Richmond HRRC, Camino de Townmead	Actualmente, este sitio no segrega alfombras para reciclar debido a limitaciones de espacio, ya que reciben grandes volúmenes de desechos verdes en los meses de verano. Considerarán reciclar alfombras en el futuro si las circunstancias cambian.

Factores claves del éxito

Hay cinco factores clave que han contribuido a la implementación exitosa del reciclaje de alfombras en el oeste de Londres.

1. Equipos de compactación.

Es importante tener acceso a equipos en el sitio que puedan cargar alfombras en un contenedor de piso móvil y comprimir la alfombra para lograr la máxima carga útil en el vehículo. En la mayoría de los seis sitios cubiertos por la WLWA, se utiliza una cuchara de 360° para cargar y comprimir las alfombras; al hacerlo, se puede lograr una carga útil de 20 a 22 toneladas de alfombra por contenedor.

En dos de los seis HRRC que separan los desechos de alfombras para su almacenamiento, no hay espacio suficiente para llenar los contenedores del piso transitable, por lo que estos sitios almacenan el material en contenedores de 40 yardas que luego se transportan a Brent HRRC.

El uso de una cuchara para comprimir las alfombras en los contenedores antes del transporte puede duplicar el peso en cada carga: la masa de alfombra que cabe en un contenedor de 40 yardas se puede aumentar de 3,5 toneladas a 8 toneladas.

2. Señalización



**Figura 45. Ejemplo de señalización de contenedor de alfombra
(Fuente: London Waste & recycling board)**

Donde haya espacio para contenedores de alfombras separados en el sitio, los contenedores están claramente señalizados. Esto permite a los propietarios colocar sus alfombras en el lugar correcto en el HRRC y reduce el riesgo de que las alfombras se coloquen en el contenedor de basura general y garantiza que el contenedor de alfombras no se contamine.

En el Centro de Reutilización y Reciclaje de Hounslow se han esforzado por reducir aún más. Idealmente, un HRRC que toma alfombras para reciclar debería tener suficiente espacio en el sitio para proporcionar un contenedor separado para alfombras, así como espacio para almacenar hasta 22 toneladas de alfombras para que el reprocesador las recoja. Sin embargo, esto no siempre es posible, especialmente en Londres, donde el espacio es escaso. 2. Señalización 3. Espacio para la segregación Los requisitos de cada sitio se evalúan de forma individual.

contaminación en el contenedor de alfombras colocándolo al final de una fila con su propio pórtico de acceso, a diferencia de los otros contenedores que comparten un pórtico de acceso

3. Espacio para la segregación.

Idealmente, un HRRC que toma alfombras para reciclar debería tener suficiente espacio en el sitio para proporcionar un contenedor separado para alfombras, así como espacio para almacenar hasta 22 toneladas de alfombras para que el reprocesador las recoja. Sin embargo, esto no siempre es posible, especialmente en Londres, donde el espacio es escaso.

En los HRRC de Hillingdon, Harrow, Brent y Hounslow, las alfombras se acumulan en el lugar. En la mayoría de los casos, los residentes colocan las alfombras en contenedores de 20 o 40 yardas que se vacían en una bahía de almacenamiento separada cuando están llenas. Sin embargo, el Harrow HRRC en Forward Drive, por ejemplo, no tiene espacio para un contenedor separado.

En este sitio, sacan la alfombra de los contenedores de desechos generales y la colocan en una bahía en la parte trasera del sitio para almacenamiento y almacenamiento. Aunque no es lo ideal debido a la mayor probabilidad de contaminación, el reprocesador seguirá aceptando el material. Se requiere mano de obra adicional para extraer la alfombra, pero los operadores del sitio creen que el esfuerzo adicional produce beneficios genuinos en términos de niveles de reciclaje.

En Hillingdon HRRC tampoco hay un contenedor dedicado. El personal se reúne y saluda a los residentes y les indica que coloquen alfombras en un área específica, que cambia según el espacio disponible. Luego, el personal retira las alfombras y las coloca en una bahía para almacenarlas antes de que CRG las recoja.

Los requisitos de cada sitio se evalúan de forma individual.

4. HRRC trabajando juntos.

Aunque son operados por diferentes ayuntamientos y empresas de gestión de residuos, los HRRC han demostrado que pueden trabajar juntos para aumentar los residuos de alfombras. Los HRRC más pequeños trabajan con un HRRC más grande para recolectar alfombras a granel: por ejemplo, el Centro de reciclaje y reutilización de Brent acepta alfombras de los dos HRRC en Ealing para su recolección.

En última instancia, el agrupamiento del material en un sitio reduce los costos de transporte y hace que el reciclaje de alfombras sea económicamente competitivo en comparación con la eliminación en vertederos.



Figura 46 . Alfombra a granel lista para ser recolectada de tres HRRC en Brent Re-use and Centro de reciclaj. (Fuente: London Waste& recyclin board)

5. Relación con el reprocesador

Para garantizar que el acuerdo de recolección y reciclaje funcione tanto para la autoridad de eliminación de desechos como para el reprocesador, se requieren relaciones de trabajo sólidas.

WLWA y CRG trabajan juntos y se comunican entre sí para que el sistema funcione. Los HRRC acumulan los desechos de alfombras y solo solicitan una recolección cuando hay una carga completa disponible. CRG recoge la moqueta en un vehículo de piso móvil en el que la carga útil máxima es de 25 toneladas. CRG proporciona información sobre la calidad y la contaminación que, a largo plazo, mejora la calidad de los residuos de moqueta segregados. Es la comunicación y una sólida relación de trabajo lo que garantizará la estabilidad a largo plazo del contrato de reciclaje de alfombras.

CONSEJOS PRINCIPALES: requisitos para el reciclaje de alfombras en los HRRC

- Segregación en contenedores separados si es posible
- Señalización clara en los contenedores
- Equipos para compactar material en el sitio o recoger alfombras del contenedor de desechos generales, si es necesario.
- Espacio en el sitio para segregación y carga: la carga útil óptima es de 20 a 25 toneladas
- Cooperación entre distritos y HRRC
- Trabajar en estrecha colaboración con el reprocesador

Beneficios de reciclar alfombras.

Dos años desde que comenzó el reciclaje de alfombras en octubre de 2012, WLWA ha enviado más de 5000 toneladas de alfombras, que antes se enviaban a vertederos, a CRG para su reprocesamiento. Las cifras muestran que el volumen de alfombras

recicladas por WLWA ha aumentado año tras año, y la tasa general de reciclaje ha aumentado aproximadamente un 1 %.

WLWA también ha ahorrado un 14 % en costos al reciclar alfombras en comparación con la eliminación en vertederos. WLWA también ha ahorrado un 14 % en costos al reciclar alfombras en comparación con la eliminación en vertederos.

En una época de recortes de austeridad, el ahorro económico para las autoridades locales es de gran importancia.

Además, los municipios han brindado un servicio mejorado a sus residentes al reciclar la alfombra recibida en sus HRRC y esto es cada vez más importante para los residentes interesados en el impacto ambiental de sus desechos.

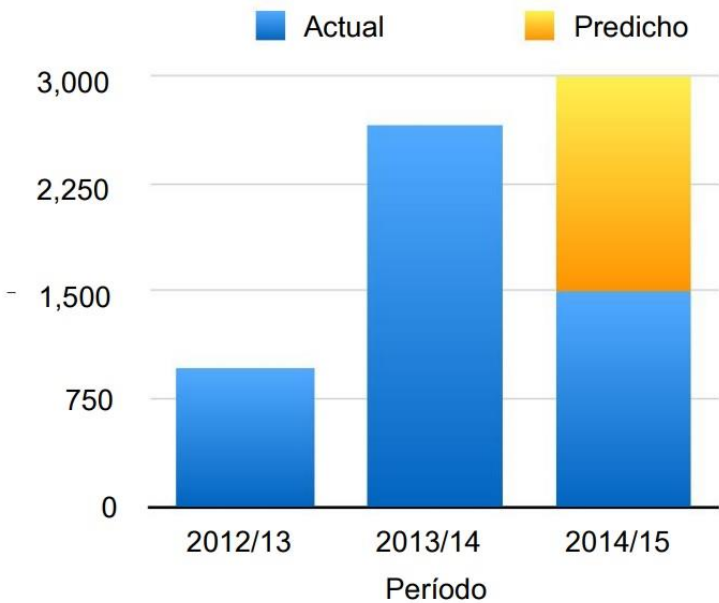


Gráfico 16 Toneladas de alfombras recicladas por WLWA
(Fuente: London Waste & recycling board)

CAPITULO 5

5.1 CONCLUSIONES.

Con la metodología de la EMF se obtuvo un MCI de 0.06 para el proceso de disposición final de residuos de alfombras en general, lo que significa que el proceso tiende a ser completamente lineal y los MCI obtenidos de los productos fabricados a partir de residuos de alfombra mostraron un alto incremento en el porcentaje de circularidad al ser estos productos fabricados a partir de desechos de alfombras y se demostró que las propiedades buscadas son las adecuadas para cumplir con los requerimientos del fabricante.

Al evaluar la circularidad de alfombras fabricadas con fibras naturales y sintéticas, se identificó un alto potencial de mejora en áreas como la reducción de materiales principalmente en las fabricadas con lana, optimización de materiales, simbiosis industrial, reciclaje, re-manufactura/renovación, mantenimiento/repación, reciclaje de producto, modelo de producto como servicio, y un potencial moderado de mejora en las áreas de uso, reúso y redistribución."

El análisis del proceso de disposición final de residuos de alfombra, permitió identificar que la combustión de estos tiene mayor impacto ambiental con respecto a la utilización de estos residuos en compuestos estructurales con propiedades de moderadas a buenas, en las 4 categorías de daños: salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos, calentamiento global, acidificación / fortificación terrestre, ecotoxicidad terrestre, efectos respiratorios, y sustancias cancerígenas y no cancerígenas.

Al ser la combustión para obtención de energía la que mayores impactos genera, pues tanto la producción como la combustión de nailon emite óxido nitroso, que es muy peligroso para la capa de ozono 300 veces más que el dióxido de carbono.

Por este motivo, es el que requiere la mayor cantidad de mejoras posibles para reducir los efectos al ambiente y a la salud.

Debido a que se presentan grandes desperdicios preconsumo de alfombras en la etapa de hilado e instalación, se generan enormes cantidades de residuos de polímeros y carbonato de calcio, por lo que una de las alternativas posibles para minimizar las pérdidas, es realizar un nuevo diseño de las piezas, de manera que sean ensamblables, esto ayudaría a solo reemplazar la zona dañada en lugar de toda la sección. Inspirada en la naturaleza se ha llegado a imitar el agarre de los geckos (lagartijas), evitando así el uso de algún tipo de pegamento en la instalación de alfombras.

5.2. PERSPECTIVAS.

¿Te imaginas que se descubriera una materia prima ecológica que desterrara el uso de plásticos y fibras sintéticas? ¿Un producto natural que además fuera renovable, reutilizable y biodegradable? No tienes que imaginar: la lana es una realidad. Una herencia del pasado que se perfila como una inversión de futuro.

Reutilizar la lana en lugar de tratarla como un residuo cerraría círculos económicos y medioambientales, lo que conocemos como economía circular, por lo que se perfila como una alternativa sostenible que beneficia no sólo a la economía local y social sino también al medioambiente.

Si se quiere mantener e incluso mejorar el nivel de vida actual, las tácticas dilatorias y las medidas poco entusiastas para abordar los desechos en general y los desechos de alfombras en particular solo pospondrán el problema en lugar de resolverlo.

Lo que se necesita hacer es una planificación colectiva a largo plazo, respaldada por una inversión seria en investigación y desarrollo, así como una asociación coordinada entre el gobierno y las industrias relevantes. Este enfoque garantizaría, en última instancia, que los residuos sean una materia prima valiosa y que su utilización en la fabricación de nuevos productos se convierta en parte integral del desarrollo sostenible y la preservación del equilibrio en la naturaleza.

REFERENCIAS.

Biehl M, Prater E, Realf MJ. Evaluación del rendimiento y la incertidumbre en el desarrollo de sistemas de logística inversa de alfombras. *Comput Oper Res* 2007;34:443–63.

Bird L. Carpets: de residuos a recursos. 2013. Disponible en: [http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/Carpet Recycling UK Annual Report and 2020 Vision Jane Gardner Carpet Recycling UK.pdf](http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/Carpet_Recycling_UK_Annual_Report_and_2020_Vision_Jane_Gardner_Carpet_Recycling_UK.pdf).

Bird L. Conferencia sobre reciclaje de alfombras en el Reino Unido. 2014. Disponible en: [http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/27_percent_landfil_diversion_how_the_UK_exceeded_its_targets_two_years_early_Laurance Bird and Jane Gardner Carpet Recycling UK.pdf](http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/27_percent_landfil_diversion_how_the_UK_exceeded_its_targets_two_years_early_Laurance_Bird_and_Jane_Gardner_Carpet_Recycling_UK.pdf)

Bolden J, Abu-Lebdeh T, Fini E. Utilización de materiales reciclados y de desecho en diversas aplicaciones de construcción. *Am J Environ Sci* 2013;9:14–24.

Callister WD, Rethwisch DG. Ciencia e ingeniería de materiales: una introducción. 7ª ed. Nueva York: Wiley; 2007. Selector de ingeniería de Cambridge 3.1. Cambridge (Reino Unido): Granta Design Limited; 2000.

Conferencia y exhibición de composites. 2012. Reciclaje de alfombras en el Reino Unido, reciclaje de alfombras y política gubernamental. 2010. Disponible: [http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/Carpet Recycling and Government Policy Jan%202010.pdf](http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/Carpet_Recycling_and_Government_Policy_Jan%202010.pdf)

Comisión Europea, (2014). Towards a circular economy: a zero-waste programme for Europe. 398 final, pp. 1-14, Julio, Bruselas, Bélgica. Comisión Europea.

Comisión Europea, (2016). Ecodesign Working Plan 2016-2019. 773 final, pp. 1-10, noviembre, Bruselas, Bélgica. Comisión Europea.

Comisión Europea, (2019). On the implementation of the Circular Economy Action Plan. 190 final, pp. 1-11, marzo, Bruselas, Bélgica. Comisión Europea.

Cradle to Cradle Products Innovation Institute, (2016). Cradle to cradle certified product standard version 3.1. McDonough Braungart Design Chemistry. Cradle to Cradle Products Innovation Institute.

Davies, KA, Orr, W., 100 % nailon 6 reciclado posconsumo: la resina repolimerizada proporciona propiedades mecánicas, físicas y estéticas completas, Documentos técnicos de SAE, Congreso Mundial SAE 2000; Detroit, MI; Estados Unidos; 6 de marzo de 2000 al 9 de marzo de 2000.

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, Aplicación de la bbjjerarquía de residuos: resumen de evidencia. 2011. Disponible: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69404/pb13529-waste-hierarchy-summary.pdf

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, Estadísticas sobre residuos gestionados por autoridades locales en Inglaterra en 2012/13. 2013. Disponible: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/255610/Statistics_Notice1.pdf

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, Gestión ambiental—orientación—Legislación y reglamentos sobre residuos. 2014a. Disponible: <https://www.gov.uk/waste-legislation-and-regulations>

Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Medio Rural. Reducción y gestión de residuos. 2014b. Disponible en: <https://www.gov.uk/government/policies/reducing-and-managing>

División de Población de la ONU, (2019). World Population Prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs. United Nations Publications.

Economía, S. d. (25 de Octubre de 2022). *contactopyme.gob.mx*. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de *contactopyme.gob.mx*: www.contactopyme.gob.mx

EMF, (2013). *Towards the circular economy 1: economic and business rationale for an accelerated transition*. EMF Publications.

European Urban Knowledge Network, (2015). *The circular city: lessons from Europe*. European Urban Knowledge Network.

Fatahi B, Khabbaz H, Fatahi B. Características mecánicas de la arcilla blanda tratada con fibra y cemento. *Geosynth Int* 2012;19:252–62.

Fishbein BK. Retirada de alfombras: EPR estilo americano. *Environ Qual Manage* 2000;10:25–36.

Gandhi, K. "Floorcoverings: Trends in 21st Century", *Textile Month*, October de 1995, págs. 63–67

Gowayed YA, Vaidyanathan R, El-Halwagi M. Síntesis de materiales compuestos a partir de tejidos y plásticos de desecho. *J Elastomers Plast* 1995;27:79–90.

Jain A, Pandey G, Singh AK, Rajagopalan V, Vaidyanathan R, Singh RP. Fabricación de composites estructurales a partir de moqueta de desecho. *Adv Polym Technol* 2012;31:380–9.

Kiziltás A, Gardner DJ. Utilización de desechos de alfombras como matriz en compuestos termoplásticos de ingeniería rellenos de fibra natural para aplicaciones automotrices. En: *SPE automotriz conferencia y exhibición de composites*. 2012.

Kotliar AM. Propiedades similares a la madera de alfombras y desechos textiles fibrosos: mitigar la próxima crisis de los vertederos. *Polym Plast Technol Eng* 1999;38:513–31.

Luna Paula V, (2022). Revalorización de residuos de manejo especial de una empresa de electrodomésticos con base en los principios de la economía circular. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. , México. [Último día de acceso: 4 de febrero. de 2023] Disponible en: <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/2744/LUGPTL08T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mihut C, Capitán DK, Gadala-Maria F, Amiridis MD. Revisión: reciclaje de nailon a partir de residuos de alfombras. *Polym Eng Sci* 2001;41:1457–70.

Miraftab M, Horrocks R, Woods C. Residuos de alfombras, ¿un lujo caro del que debemos prescindir! *Autex Res J* 1999;1:1–7.

Miraftab M, Lickfold A. Utilización de desechos de alfombras en el refuerzo de suelos de mala calidad. *J Ind Text* 2008;38:167–74.

Miraftab M, Mirzababaei M. Utilización de desechos de alfombras, una realización del despertar: una revisión. En: 2do simposio internacional sobre reciclaje de fibras. 2009.

Miraftab M, Rushforth I, Horoshenkov K. Base acústica fabricada a partir de residuos de losetas de moqueta. Parte 1: efecto de la variación en la proporción seca de granulado/fibra, concentración de aglutinante, y tamaño de partículas de desecho en el aislamiento acústico de impacto de las capas base producidas. *Autex Res J* 2005;5:96–105.

M. McCoy, Encontrar nueva vida para alfombras viejas, *Chem. Ing. Noticias* 84 (43) (2006) 33–38.

Murdock DE, Mancosh D, Przybylinski JP. Compuesto de residuos de alfombras. *US 7923477 B2*; 2011.

Murray A., Skene K., Haynes K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and its application in a global context. *Journal of Business Ethics*. Vol. 140, number 3, pp. 369-380. Springer Science and Business Media LLC. 185

Navarro, M. G. (22 de marzo de 2021). *efeverde.com*. Recuperado el 12 de septiembre de 2023, de *efeverde.com*: <https://efeverde.com/materia-prima-magica/>

OCDE (2018). *Global Material Resources Outlook to 2060: economic drivers and environmental consequences*. Paris, Francia. OCDE Publishing.

ONU (2019). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019*. ISBN: 978-92-1-047889-2, New York. United Nations Publications.

Peoples R. *Administración de alfombras en los Estados Unidos: un compromiso con la sostenibilidad*. En: Wang Y, editor. *Reciclaje en textiles*. Cambridge: publicación de Woodhead; 2006. pags. 38–45.

Petru(2014). *Residuos, Productor*). ICEX España: exportacion e inversiones. Disponible en: <https://www.icex.es/content/dam/es/icex/documentos/todos-nuestros-servicios/informacion-mercados/ventana-brexit/ventana-brexit-documentacion/DOC2020852248.pdf> / [Último día de acceso: 30 de abril de 2023]

PNUMA (2011). *Recycling rates of metals*. ISBN: 978-92-807-3161-3. International Resource Panel. 69. PNUMA (2019). *Global Resources Outlook (2019). Natural resources for the future we want*. ISBN: 978-92-807-3741-7, Paris. International Resource Panel.

Prieto-Sandoval V., Jaca C., Ormazabal M., (2018). *Towards a consensus on the circular economy*. *Journal of Cleaner Production*, volumen 179, ISSN 0959-6526, abril, pp. 605-615. San Sebastian, España. Elsevier Ltd.

Programa de Acción de Residuos y Recursos, *Composición y potencial de reutilización de textiles voluminosos para el hogar en UK*. 2012b. Disponible en: <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Textiles%20%20bulky%20waste%20summary.pdf>.

Programa de Acción de Residuos y Recursos, *Recogida y trituración de moquetas de Centros de Reciclaje de Residuos Domésticos*. 2014. Disponible: 186

http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Collection%20of%20carpets%20from%20HWRCs%20by%20reprocessor_0.pdf.

Realff MJ, Lemieux P, Lucero S, Mulholland J, Smith PB. Caracterización de las emisiones transitorias de bocanadas de la quema de cargas de residuos de alfombras en una cámara de combustión de horno rotatorio. En: Presentado en la 47ª conferencia técnica de la industria del cemento IEE. 2005.

Reike D., Walter J.V., Vermeulen, Witjes S., (2018). The circular economy: new or refurbished as CE 3.0? - exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. Resources, conservation, and recycling, volumen 135, agosto, pp. 246-264. Elsevier.

Romero, M. E. (2020). Interface Carpets y la economía circular en la industria de las alfombras. Anáhuac México, Ciudad de México, México. Disponible en : <https://www.anahuac.mx/mexico/noticias/Economia-circular-en-industria-de-las-alfombras>

Rushforth I, Horoshenkov K, Miraftab M, Swift M. Aislamiento acústico de impacto y propiedades viscoelásticas de capas base fabricadas a partir de residuos de alfombras recicladas. Acústica de la aplicación 2005;66:731–49.

Scott Cassel. (2008). Product Stewardship Institute. (J. Wagner, Editor, J. Wagner, Productor, & Julia Wagner), de Product Stewardship Institute. Disponible en: <https://productstewardship.us/who-we-are/> [Último día de acceso: 19 de febrero de 2023]

SEMARNAT (2019). Leyes y normas del sector medio ambiente. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/leyes-y-normas-del-sector-medio-ambiente/>[Último día de acceso: 11 de abril. de 2023]

Siddique R, Khatib J, Kaur I. Uso de plástico reciclado en hormigón: una revisión. Waste Manage 2008;28:1835–52.

Smith M. Uso de maderas recicladas y recuperadas. En: Richardson A, editor. Reutilización de materiales y subproductos en la construcción. Londres: Springer; 2013. pág. 111–49.

Tousey TT. Utilización de materiales de desecho como fuente de energía alternativa: beneficios y desafíos. En: Rao KR, editor. Manual de generación de energía y potencia: tecnologías establecidas y emergentes. Nueva York: prensa ASME; 2011.

Vaidyanathan R, Singh RP, Ley T. Materiales de alfombra reciclados para aplicaciones de infraestructura. Oklahoma: Centro de Transporte de Oklahoma; 2013. 35

Van Buren N., Demmers M., Van der Heijden R., Witlox F. (2016). Towards a circular economy: the role of dutch logistics industries and governments. Sustainability, volumen 8, número 7. MDPI Journals.

Wang Y. Tecnologías de reciclaje de alfombras. En: Wang Y, editor. Reciclaje en textiles. Cambridge: publication de Woodhead; 2006a. pags. 58–70.

Wang Y. Utilización de fibras de desecho de alfombras recicladas para refuerzo de hormigón y suelo. En: Wang Y, editor. Reciclaje en textiles. Cambridge: publicación de Woodhead; 2006b. pags. 213–24.

Wang Y. Utilización de residuos de fibras y textiles. Residuos Biomasa Valoriz 2010;1:135–43.

Wang Y, Zhang Y, Polk M, Kumar S, Muzzy J. Reciclaje de alfombras y fibras textiles. En: Andrady L, editor. Los plásticos y el medio ambiente: un manual. Nueva York: John Wiley & Hijos; 2003. pág. 697–725. Wang Y, Zureick AH, Cho BS, Scott D. Propiedades del hormigón reforzado con fibra utilizando fibras recicladas de residuos industriales de alfombras. J Mater Sci 1994;29:4191–9.

WBCSD (2017). Circular Economy and Environmental Priorities for Business. ECOFYS, número de proyecto SISNL17428, Geneva. WBCSD 90. WBCSD (2018).

The new big circle: achieving growth and business model innovation through circular economy implementation. WBCSD

Webster, Ken, Jocelyn Blériot, and Craig Johnson. A New Dynamic: Effective Business in a Circular Economy

Wit M., Hoogzaad J., Ramkumar S., Friedl H., & Douma A., (2018). The circularity gap report: an analysis of the circular state of the global economy. Circle Economy.

World Flooring & Carpets-Demand and Sales Forecasts, Market Share, Market Size, Market Leaders, The Freedonia Group, Cleveland Ohio, USA, Published 12/2014, 407 p.

Xanthos M, Dey SK. Composición sustitutiva de la madera y proceso para su producción. patente estadounidense US 6,211,275 B1; 2001.

Xanthos M, Dey SK, Mitra S, Yilmazer U, Feng C. Prototipos para aplicaciones de construcción basados en compuestos termoplásticos que contienen plásticos de desecho mixtos. Composiciones poliméricas 2002; 23:153–63.

Young DC, Chlystek SJ, Malloy R, Rios I. Reciclaje de desechos de alfombras. patente estadounidense US 5.719.198; 1998.

Zhang Y, Muzzy JD, Kumar S. Reciclaje de desechos de alfombras mediante moldeo por inyección y compresión. Polym Plast Technol Eng 1999;38:485–98.



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT
SGI certificado en la norma ISO 9001:2015 e ISO 21001:2018



Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

FORMA T4
NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR

Cuernavaca, Mor., a 8 de noviembre de 2023

- DRA. CARMEN HENEFF GARCÍA ESCOBAR
DRA. LOYDA ALBAÑIL SÁNCHEZ
DR. ROBERTO FLORES VELÁZQUEZ
DRA. FERNANDA MORALES GUZMÁN
ING. KAREN GUADALUPE SUÁREZ SÁNCHEZ
P R E S E N T E

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del COMITÉ REVISOR de la TESIS titulada: Revalorización de residuos de alfombras con base en los principios de la economía circular.

Dirigida por el Dr. Roberto Flores Velázquez

Que presenta (el) o (la) C. OMAR JUÁREZ GÓMEZ, del programa educativo de la LICENCIATURA en INGENIERÍA QUÍMICA

ATENTAMENTE
Por una humanidad culta

MTRA. ANGÉLICA GALINDO FLORES
Encargada de despacho de la dirección de la FCQel

Se anexa firma electrónica

DICTAMEN

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQel
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

Table with 2 columns: VOTO and NOMBRE. Rows list five members with 'Aprobatorio' votes.

Se anexan firmas electrónicas de cada revisor, en las cuales se incluye la fecha y hora que se ha emitido el voto aprobatorio.

AGF/fmg

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Tel. (777) 329 7000, Ext. 7039, fcqei@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ANGELICA GALINDO FLORES | Fecha:2023-11-08 17:51:06 | Firmante

iFopYMkeN7I026G67zuApyPeJpMsw2eHHv+p0kSTDJJ6UKT3wi7r3yw8HieVvctHBuX0uOoeK8/TOV55/umaVaEGIZp+c44swYGhNezGWJON3Yv6WP1ylduvIV065WTKg3bUhl
dSTI5RvPPBRySSHHySS5mMpCtIAzcgCcaUtlHOzvehPq/xRhZxkZ7SU2QIkOkB+4/v3+rj5lrOjvluvsShn67avXlyKRCIGJECcbZrjEPKAREBllwGnj7/8cOXm5NVLcxnCCGk9kb8GL
kD/U5fTUqev3GPEv+wuizfleja4Ml6v5hcBMrgiUOXi7L+GWK/sQFevxLwT5nm1MSg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[WgxVmb1Lk](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/7Drv9a3V4te3MDdqX8H9TsPMdJcmuJIP>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

FERNANDA MORALES GUZMAN | Fecha:2023-11-09 10:04:07 | Firmante

CJ5csArF67iqfOK7LHJ7IqnrG8VbAwdeMtd5cFK1UmxDBPSqL1Nif5YQqllGHndvTnmjrSIS1vasTA2vJllmuWS7GfGFGo5JlhwhUQ7FoR5IPhO1X4ykolTx5XIRVF5SLUy5ID8x9ghAyFXPORv0b4phjzHvPJLjRdU/4ge95f9UzJ7LsgBd8xb3+JVZpTBgp8B/LGo0tuc1HE+AZYmWj8Y13vL+1n6GuHUcgo3faCRw3N26V0FXw6RaVNWSYz2RcnhIDLan0f9UI8Zi/TM1QEFyPawAwzTdk37MaQZjtNz1+Fm/gyLgQrVc0Mk7FIOFbfnmjbBuZuPs26w==

KAREN GUADALUPE SUAREZ SANCHEZ | Fecha:2023-11-09 11:12:47 | Firmante

6XCmwJgUuFbqWcmKuHwJY+QDqio0NsOHfOTPhXP7GfckhPVKOkuDM4/c6nfaButbc5j+Tsy8sd8hoB0NuWkv7VZ7YVNsQripBpUMIqS3H3QSL9oRNvrhCdtBP31qak17sbJNnUKYr1BEre5Fnmw+4FcuTkA5YBelsSaOwEvuXGc0SmKIA2a4EfuXIMWv6bm1H5knNzeMvuzPaGJl+o3JERBeOIFK0P10UPdQLAdTyE2mwzhjvAbjFDpMJ9Tz7zYpqKk++s5aTqkf94o0gil203j9Ll2nWX2fWqQ9Jk5C3t1RFmNAsG1vWwPwltzyRdPMLRGmwU4w9ChM3Cw==

ROBERTO FLORES VELAZQUEZ | Fecha:2023-11-09 14:58:36 | Firmante

2nnWe9gdKfz95QzU+kdyb6zQvjKdsYnUWt76k0sq1BLEREsJGodUroWTwD95S1+d7eOKMBXyF+6D8AwqU/Hpk7YJVdk2l+81X5ip4hVV25d2IQHEOx8prOms0OPsRPVaBVSR1NWU+TIEhw20cC5s006y9JMJCFfja4hZqOn53YN4F0mRZbBTmwdPP4msnzjbAPzMnzXF0pc06pmgabipkvQw9z9NSX73ygzFpC8xolAoOllhqMzldNPWahKq+E4Kzptt1KB89lW61QHZRfHvbGOYsD00C0Ur2IEcEHVH6RRT1zcAH+QGqmSxM7CU2Nuk/nl0eG9fQodgiiG9njVQ==

CARMEN HENEFF GARCIA ESCOBAR | Fecha:2023-11-09 15:13:00 | Firmante

jJ9nyTASELaOJ7vnodebc68w4o9Cr+HLC8P3EQ9WLJUobnh1a/4hXs31qrg9omSdVxWYF5jCkPETvYJZulbwtXezBDFE3dE9/uo+e9i7d02HmnArF9fgoTJ6zuYxf7s10VO+5ILMzE++di3kA2zZwll/prC2ytfjaA0zjlugGDhvWYRVrg4XXGclZp1A9hV35VwVwX2h+F5XtmwJ5cBy5VEaXBVa+D3nberL8bllL3S0Au5wXNSaS4HN+6GN6obCBWHbQ7l/rKB3l/1ybk2h4u2fXwJiUUXlAjjwU1WpEnbXr+KvsO0KBZdLhR4AB8FbzVU3JrtL0H+Ukjw==

LOYDA ALBAÑIL SANCHEZ | Fecha:2023-11-09 15:25:10 | Firmante

dvbGesebObOVxFdR896moWApEalMstcAptdB+B3mdxNVK3TjKPG4LMaJkl/SBG47UE/ve4ecirJXxmML2Jl+dCyHmM9zlWN6VbAeJyXaWDXV/crq5I0vFKdAd7UdVWWWVtllSq d7Rnt3v8RwFfSbsd2ZvCehq40IE8dyKzCh3ILSSI/ngplPpgGjBFDSSi08+jjXxaZOYbVgYRzqRCoZGEIJAJKWEe/7Vol+TL/eG0tq+wHhXAg1ZcEhvwYZ+cCCrDP2AaHfJLIEH57s8bekaKrfW5i6+ijXTP8pr+dC3Wtbaz1xWl2uq5LM25WJN5BghuSfaG2SYIDK+w==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



Wpoh4GMSb

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/zx2TXF7VsFx14E0pRoNHGMRh7TlU1Bd>